# RAPPORT DE RECHERCHE

## ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ATTRIBUABLES AUX DÉPLACEMENTS URBAINS : OUTIL D'ÉVALUATION DE LA DURABILITÉ DES QUARTIERS

**SÉRIE SUR LA MAISON ET LES COLLECTIVITÉS SAINES**

SCHL CMHC

AU COEUR DE L'HABITATION
Canada

## SCHL—Au cœur de l'habitation

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) est au cœur de l'habitation. Toutes ses activités visent à aider les Canadiens et les Canadiennes à vivre dans un logement sûr à tout point de vue.

À titre d'organisme national responsable du logement, la SCHL joue un rôle important dans le secteur canadien de l'habitation. Elle propose de nouvelles façons de financer l'achat des maisons. Elle favorise l'innovation dans le domaine de la technologie et de la conception des habitations. Grâce à son assurance prêt hypothécaire, elle aide les Canadiens et les Canadiennes à réaliser leur rêve et à posséder leur propre maison.

Les Canadiens et les Canadiennes tirent avantage de la collaboration de la SCHL avec ses partenaires des secteurs public, privé et sans but lucratif en vue d'améliorer la qualité et l'accessibilité des logements et de faire en sorte qu'ils soient plus abordables, partout au pays.

L'aide accordée par la SCHL permet aux ménages à faible revenu, aux aînés, aux personnes handicapées et aux Autochtones de vivre dans des logements convenables et abordables. La SCHL crée des emplois pour les Canadiens et les Canadiennes dans le domaine des produits et services en aidant le secteur de l'habitation à exporter ses connaissances et ses compétences dans d'autres pays.

Les recherches de pointe effectuées par la SCHL améliorent la qualité des logements et font en sorte que ceux-ci soient plus abordables. Afin d'aider les Canadiens et les Canadiennes à tirer profit de son savoir-faire dans le domaine de l'habitation et à prendre des décisions éclairées, la SCHL est devenue le plus important éditeur canadien de publications portant sur le logement. Elle possède également la collection la plus complète de documents sur l'habitat.

Les Canadiens et les Canadiennes peuvent avoir facilement accès à nos informations par l'entremise des points de vente et des bureaux régionaux de la SCHL.

Vous pouvez aussi communiquer avec nous par téléphone :
1 800 668-2642 [à l'extérieur du Canada : (613) 748-2003]
ou par télécopieur : (613) 748-4069.
Pour nous joindre en direct, visitez notre page d'accueil à l'adresse suivante : « www.cmhc-schl.gc.ca »

La Société canadienne d'hypothèques et de logement appuie la politique du gouvernement fédéral sur l'accès à l'information pour les personnes handicapées. Si vous désirez obtenir la présente publication en des médias substituts, composez le 1 800 668-2642.

102-03369/

# *Émissions de gaz à effet de serre attribuables aux déplacements urbains : outil d'évaluation de la durabilité des quartiers*

*par*
*IBI Group*

*pour la Société canadienne d'hypothèques et de logement*
*et*
*Ressources naturelles Canada*

*Février 2000*

La SCHL offre de nombreux renseignements relatifs à l'habitation. Pour plus d'information, veuillez composer le 1 800 668-2642 ou visiter notre site Web : www.cmhc-schl.gc.ca

This publication is also available in English under the title *Greenhouse Gas Emissions from Urban Travel: Tool for Evaluating Neighbourhood Sustainability*, PE 0432.

Cette recherche a été financée par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL). La qualité rédactionnelle de ce rapport, son contenu et les opinions qui y sont émises sont la responsabilité des auteurs. La SCHL ne saurait en assumer la responsabilité et se dégage de toute obligation relativement aux conséquences résultant de l'utilisation que le lecteur pourrait faire des renseignements, des matériaux ou des techniques qui y sont décrits.

© 2000, Société canadienne d'hypothèques et de logement. Tous droits réservés. La reproduction, le stockage dans un système de recherche documentaire ou la transmission d'un extrait quelconque de cet ouvrage, par quelque procédé que ce soit, tant électronique que mécanique, par photocopie, enregistrement ou autre moyen sont interdits sans l'autorisation préalable écrite de la Société canadienne d'hypothèques et de logement. Sans que ne soit limitée la généralité de ce qui précède, il est de plus interdit de traduire un extrait de cet ouvrage dans toute autre langue sans l'autorisation préalable écrite de la Société canadienne d'hypothèques et de logement.

Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL

# RÉSUMÉ

## 1 Introduction

En conséquence du Sommet de Kyoto tenu en décembre 1997, le gouvernement fédéral élabore des stratégies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) au Canada. Un des principaux obstacles à l'atteinte de ce but est le transport urbain qui contribue largement et de plus en plus aux émissions de GES au Canada. Cela est en grande partie attribuable à l'utilisation croissante de véhicules automobiles privés, alliée à la diminution des taux d'utilisation des transports en commun dans la plupart des villes canadiennes pendant la dernière décennie.

Beaucoup d'études démontrent l'existence d'un lien solide entre, d'une part, la propriété et l'usage d'une automobile et, d'autre part, la façon dont les collectivités sont planifiées, conçues et aménagées. Jusqu'à présent, peu de recherches ont été faites en vue de quantifier la mesure dans laquelle la consommation énergétique et les émissions de gaz d'échappement pourraient être réduites grâce à des scénarios de rechange pour l'aménagement des quartiers.

### Objectifs

Dans le cadre de cette étude, les auteurs ont élaboré un modèle des émissions de GES provenant du transport urbain personnel en faisant varier certaines caractéristiques des quartiers, y compris la conception de la collectivité et des logements, la composition socio-économique et des facteurs d'emplacement. Les résultats donnent de précieux renseignements sur la façon de concevoir et de planifier les collectivités de manière à réduire les émissions de GES provenant de l'usage d'automobiles privées dans les zones urbaines.

Le principal but de l'étude était de mettre au point un chiffrier convivial afin de faciliter l'utilisation du modèle mathématique pour évaluer les propositions d'aménagement en fonction des émissions de GES. L'utilisateur introduit les données sur les caractéristiques du quartier et l'outil prévoit les émissions annuelles de GES, par ménage, provenant des déplacements. Dans le cadre de cette étude, les résultats obtenus au moyen de l'outil servent à traiter de la durabilité de neuf scénarios de quartiers qui englobent une vaste gamme de caractéristiques d'emplacement et de quartiers différents.

## 2 Approche de modélisation

Les données sur la propriété de véhicules, les véhicules-kilomètres de déplacement (VKD) et les passagers-kilomètres de déplacement en transport en commun (PKD) par ménage dans la région du Grand Toronto (RGT) ont été tirées de la *Transportation Tomorrow Survey*

(TTS) de 1996. Ce riche ensemble de données se fonde sur un échantillon de 115 000 ménages (5 %) dans la RGT. Aux fins d'analyse, nous avons choisi le niveau d'agrégation des zones de circulation parce qu'elles sont un moyen commode de résumer les données sur les déplacements et qu'elles sont également compatibles avec la nécessité de faire des comparaisons au niveau des quartiers. L'analyse n'a porté que sur les zones de circulation à l'intérieur de la région métropolitaine de recensement (RMR) de Toronto et à celles ayant un nombre minimal de ménages répondants. À la fin, des données de 795 zones de circulation ont été conservées aux fins d'élaboration du modèle. Les données sur les variables individuelles qui pourraient avoir un effet sur les habitudes de déplacement des ménages ont été obtenues de diverses sources comprenant la TTS, les données du recensement et les données tirées des systèmes d'information géographique.

Au début, il a été important d'arriver à comprendre parfaitement les variables explicatives individuelles possibles. À cette fin, nous avons fait des analyses univariées de l'impact de la variable individuelle sur les VKD en automobile par ménage. La principale approche de la modélisation dans cette étude consistait à élaborer des sous-modèles distincts de la propriété de véhicule, des VKD en automobile sur semaine et des PKD en transport en commun par ménage en semaine en utilisant une analyse de régression multivariée. La régression multivariée nous permet d'examiner comment une variable dépendante particulière (p. ex., les VKD par ménage) varie en fonction des valeurs d'une ou de plusieurs variables indépendantes.

## 3 Principales variables qui influent sur l'utilisation de l'automobile et les émissions de GES

Les résultats de l'analyse multivariée nous permettent d'arriver à certaines conclusions concernant l'effet de différentes caractéristiques des quartiers sur la propriété d'une automobile et l'utilisation d'une automobile et des transports en commun. Dans l'ensemble, l'influence des variables socio-économiques et d'emplacement a tendance à être plus forte que celle des variables de conception du quartier.

**Variables socio-économiques :**

- La variable qui influe le plus sur les VKD en automobile est le nombre de véhicules par ménage.

- Dans une moindre mesure, le nombre de personnes faisant partie du ménage exerce la deuxième influence en importance sur les VKD; le nombre de personnes par ménage est la variable explicative la plus importante des PKD, rattachée au service local de transport en commun.

- Le nombre moyen d'adultes par ménage est la variable explicative la plus forte de la propriété d'une automobile par ménage.

- Le revenu d'emploi du ménage vient en deuxième place parmi les indicateurs les plus importants de la propriété d'un véhicule automobile, alors que le revenu individuel de travailleur est un meilleur prédicteur des VKD en auto que le revenu du ménage.

**Variables d'emplacement :**

- La distance par rapport au centre-ville a une forte influence dans les trois sous-modèles. Elle vient en troisième place parmi les variables explicatives ayant le plus d'importance dans le modèle des VKD en automobile. Les paramètres du modèle donnent à entendre que pour chaque kilomètre qui s'ajoute à la distance séparant un ménage du centre-ville, le VKD par ménage en semaine augmente d'environ 1 kilomètre.

- Une augmentation du nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres du centre de gravité du quartier peut réduire de beaucoup les VKD en auto par ménage, tout comme un degré élevé d'utilisation mixte des terrains (c.-à-d. combinaison d'utilisations résidentielles et d'emplois dans une zone).

- L'augmentation du nombre d'heures pendant lesquelles les transports en commun sont assurés a tendance à réduire la propriété d'un véhicule par ménage et à accroître les PKD en transport en commun par ménage. Elle se rattache au nombre de personnes par ménage comme variable explicative la plus importante de PKD. La proximité des gares de transport rapide diminue légèrement les niveaux de propriété d'un véhicule et les VKD par ménage.

**Variables de la conception des quartiers :**

- Une hausse de la densité d'habitation (le nombre de logements dans un rayon d'un kilomètre du centre de gravité du quartier) diminue de façon modérée la propriété d'un véhicule et augmente les déplacements par les transports en commun.

- Une grande diversité de types de logements dans un quartier peut réduire légèrement la propriété d'une automobile, alors que l'augmentation de la taille moyenne des logements d'un quartier (selon le nombre de pièces par logement) peut accroître légèrement les niveaux de propriété d'une automobile.

- Les quartiers ayant une disposition des rues curviligne ont tendance à faire augmenter légèrement les niveaux de propriété d'une automobile; ceux qui ont un réseau en grille rural produisent des niveaux de VKD en automobile légèrement supérieurs, toutes choses étant égales par ailleurs.

- Une hausse du nombre d'intersections par kilomètre de route dans un quartier diminue légèrement les VKD en auto, probablement parce que cela améliore la connectivité favorisant la marche et les déplacements en vélo.

- Une hausse de l'emploi dans un quartier réduit de façon modérée les PKD en transport en commun par ménage.

- La présence de magasins locaux réduit légèrement les niveaux de propriété d'un véhicule par ménage de même que les PKD en transport en commun et, par conséquent, réduit indirectement l'utilisation de l'automobile.

- La présence de grandes voies de communication à l'intérieur du quartier ou à sa périphérie augmente légèrement l'utilisation de l'auto.

- La présence de pistes cyclables et de sentiers récréatifs entraîne une légère diminution de l'utilisation de l'automobile.

Nous avons appliqué des facteurs appropriés aux valeurs prévues des VKD en automobile et des PKD en transport en commun pour convertir ces valeurs en émissions annuelles de GES par ménage. Les modèles finals, se fondant sur une régression multivariée, ont été intégrés dans un **chiffrier Microsoft Excel 7.0 facile à utiliser.** Toutes les variables décrites ci-dessus peuvent être manipulées par un utilisateur de l'outil pour vérifier diverses propositions d'aménagement en fonction de leur effet sur les émissions de GES attribuables aux déplacements des personnes. L'outil permet d'établir la différence relative entre deux quartiers ou plus de n'importe quelle grande région métropolitaine, bien que les estimations absolues des GES puissent ne pas être exactes.

## 4 Scénarios de quartiers et de contextes urbains

Neuf scénarios de quartier contrastants ont été soumis à l'analyse au moyen du modèle exécuté en utilisant le chiffrier. Ces neuf quartiers sont des combinaisons de trois concepts de quartier et de trois contextes urbains. Les scénarios de contexte urbain correspondent généralement bien au secteur interne, aux banlieues internes et aux banlieues extérieures de la région métropolitaine de recensement de Toronto. Ces zones sont situées à cinq kilomètres, à dix kilomètres et à trente kilomètres respectivement du centre-ville et ont divers degrés d'accès aux emplois et aux transports en commun.

Voici une description des concepts de quartier :

- **Quartier 1 : Aménagement conventionnel de type banlieue** — Ce type de quartier reflète les caractéristiques des aménagements modernes de banlieue. Il s'agit souvent de lotissements résidentiels

de faible densité, d'usage unique, avec des dispositions de rues comprenant des courbes et des cul-de-sac aboutissant à de grandes artères de circulation orientées vers les automobiles.

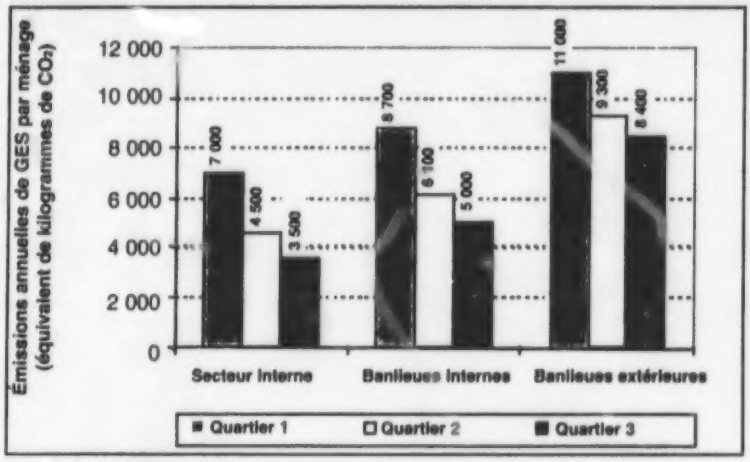
- **Quartier 2 : Lotissement de densité moyenne** — Ce concept de quartier prévoit un mélange de maisons individuelles isolées sur des terrains de taille moyenne, des maisons en rangée de faible hauteur et des immeubles d'appartements de hauteur moyenne. Habituellement, ces quartiers ont un nombre plus élevé de personnes que d'emplois, mais ils présentent néanmoins d'importantes occasions d'autonomie sur le plan de l'emploi local. On y trouve surtout des rues curvilignes, mais avec une certaine continuité et connectivité pour les véhicules de transport en commun et les piétons.

- **Quartier 3 : Lotissement néo-traditionnel** — Ce concept de quartier représente un retour aux localités «plus conviviales» pour les piétons, les cyclistes et les utilisateurs des transports en commun. On y trouve généralement un système de circulation à grille, les rues proches les unes des autres offrant une accessibilité complète aux grandes artères adjacentes. Ces quartiers ont une combinaison de types de logements comprenant les immeubles d'appartements et les logements proches les uns des autres. On trouve beaucoup plus d'usages non résidentiels (épiceries, magasins de détail, écoles et centres d'emplois) dans ce type de quartier que dans les deux autres.

Le graphique ci-dessous montre les émissions annuelles de GES prédites par le modèle pour les neuf quartiers différents. Il est facile de constater que le contexte urbain et le concept de quartier ont un effet considérable sur les émissions de GES attribuables aux déplacements urbains. Le quartier dispersé à usage unique éloigné du centre-ville produit environ trois fois plus d'émissions annuelles par ménage que le quartier compact à utilisations mixtes près du centre-ville.

Il est utile de faire remarquer que l'emplacement du quartier influe davantage sur l'utilisation d'une automobile que les variables de concept de quartier. Lorsqu'on utilise le secteur interne au lieu des banlieues extérieures, on diminue les émissions de GES de 36 % à 60 % pour les différents quartiers. Par contre, si l'on conserve le même contexte urbain et que l'on remplace le concept de quartier de banlieue conventionnel par un modèle compact à usages mixtes et orienté vers le piéton, on diminue les émissions de GES de 24 % à 50 %. Les quartiers de type néo-traditionnel situés dans les banlieues extérieures produisent plus de GES que les quartiers de type suburbain à usage unique situés dans le secteur interne. Le premier type de quartier produit des émissions annuelles de GES attribuables aux déplacements supérieurs de 20 % à celles du deuxième type.

Graphique R1 :
Émissions annuelles de GES attribuables aux deplacements selon les différents scénarios de quartier, par ménage




## 5 Conclusions

### Principaux résultats

La présente étude a donné lieu à l'élaboration d'un chiffrier électronique qui permet à son utilisateur d'évaluer et de comparer les GES attribuables aux déplacements urbains pour divers scénarios de quartier. Il se fonde sur un modèle qui explique dans une grande mesure l'interaction entre les caractéristiques des quartiers et l'utilisation de véhicules. Les valeurs $R^2$ pour les VKD en auto et les modèles de propriété d'une auto sont de 0,84 et de 0,88 respectivement, ce qui fait croire à la fiabilité des modèles. Toutefois, la valeur $R^2$ pour le modèle des transports en commun n'est que de 0,329, ce qui signifie que ce modèle est moins fiable.

Les résultats de l'évaluation de neuf scénarios de quartier utilisant le modèle élaboré au cours de cette étude donnent à entendre que la structure urbaine «macro» est plus importante que la conception «micro» des quartiers pour réduire les émissions de GES provenant des automobiles et du transport en commun par les résidents des quartiers. Autrement dit, la construction intercalaire est plus efficace que les nouveaux lotissements en zones non bâties pour ralentir la croissance des émissions de GES, même si les nouveaux lotissements sont de style néo-traditionnel plutôt que des banlieues typiques. Toutefois, la conception du quartier est également un important déterminant pour ce qui est des émissions de GES et peut faire beaucoup pour améliorer la durabilité des quartiers dans les zones périphériques des régions urbaines.

Le chiffrier produit par la présente étude constitue un outil utile pour les planificateurs et les promoteurs qui peuvent ainsi comparer les émissions de GES de différents scénarios de quartiers. Cela leur permet de comparer les conséquences de la conception locale des quartiers locaux, ainsi que des grandes considérations en matière de structure urbaine qui opposent la construction intercalaire et la construction de nouveaux ensembles résidentiels.

# TABLE DES MATIÈRES


**1. INTRODUCTION** ..... 1

**2. ÉLABORATION DE L'APPROCHE** ..... 2

Sommaire et directives sur des modèles ..... 3

**3. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DE VARIABLES** ..... 4

Description de l'ensemble de données et du contexte géographique ..... 4

Définition de la variable dépendante ..... 6

Variables explicatives ..... 6

**4. ÉLABORATION DE MODÈLE** ..... 23

Méthodologie ..... 23

Résultats des analyses à régression multivariée ..... 24

Sommaire des analyses à régression multiple et impact des variables ..... 38

Élaboration de facteurs d'émissions ..... 40

Chiffrier électronique pour évaluer les quartiers ..... 42

**5. ÉLABORATION DE SCÉNARIOS À CONTEXTE DE QUARTIER ET URBAIN** ..... 44

Scénarios à contexte de quartier ..... 45

Scénarios à contexte urbain ..... 49

Évaluation de scénarios ..... 51

**6. CONCLUSIONS** ..... 52

Principaux résultats ..... 52

Recommandations en vue de recherches plus approfondies ..... 53

**NOTES EN FIN DE TEXTE** ..... 54

**BIBLIOGRAPHIE** ..... 56

**ANNEXE A : GUIDE DE L'UTILISATEUR DU CHIFFRIER** ..... A-1

# LISTE DES PIÈCES


**Pièce 1** Contexte géographique ..... 5

**Pièce 2** Rapports entre les VKD en automobile/ménage et la propriété d'un véhicule ..... 9

**Pièce 3** Rapports entre les tendances de la propriété d'un véhicule et les facteurs socio-économiques et attributs des quartiers ..... 9

**Pièce 4** Rapports entre les VKD en automobile et la distance par rapport au centre-ville ..... 10

**Pièce 5** Répartition spatiale des VKD en automobile en semaine/ménage ..... 11

**Pièce 6** Nombre d'emplois dans un rayon d'un kilomètre et VKD moyens en auto/ménage ..... 12

**Pièce 7** Nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres et VKD moyens en auto/ménage ..... 13

**Pièce 8** Rapports entre les VKD en automobile et le service de transport en commun ..... 14

**Pièce 9** Rapports entre les VKD en automobile et les occasions de magasinage dans un rayon d'un kilomètre ..... 16

**Pièce 10** Disposition dépendante des autos et disposition axée sur le transport en commun ..... 17

**Pièce 11** Rapports entre la disposition des routes et les VKD/ménage ..... 18

**Pièce 12** Rapports entre les VKD en automobile et le nombre d'intersections/kilomètre de route ..... 19

**Pièce 13** Rapports entre les PKD en transport en commun en semaine et la distance par rapport au centre-ville ..... 21

**Pièce 14** Propriété d'un véhicule par ménage : Passages d'essai de modèle au moyen d'une analyse simple à régression multivariée ..... 25

**Pièce 15** VKD en auto par ménage : Passages d'essai de modèle au moyen d'une analyse simple à régression multivariée ..... 28

**Pièce 16** Modèles finals des VKD en automobile et de propriété d'une automobile ..... 31

**Pièce 17** PKD en transport en commun par ménage : Passages d'essai de modèle au moyen d'une analyse simple à régression multivariée ..... 33

**Pièce 18** Modèle final des PKD en transport en commun ..... 34

**Pièce 19** Validation du modèle de propriété d'une auto par ménage : Valeurs prédites et réelles ..... 35

**Pièce 20** Validation du modèle des VKD en auto par ménage en semaine : Valeurs prédites et réelles ..... 35

**Pièce 21** Validation du modèle des PKD en transport en commun par ménage en semaine : Valeurs prédites et réelles ..... 36

**Pièce 22** Impact de divers facteurs sur les VKD* en auto par ménage en semaine ..... 37

**Pièce 23** Impact de divers facteurs sur les PKD* en transport en commun par ménage en semaine ..... 38

**Pièce 24** Impact des variables explicatives sur les VKD en auto, les PKD en transport en commun et la propriété d'une automobile par ménage ..... 39

**Pièce 25** Émissions de GES par mode de transport de personnes ..... 40

**Pièce 26** Feuille d'introduction du chiffrier ..... 43

**Pièce 27** Résumé des statistiques pour les scénarios proposés de quartier et de contexte urbain ..... 44

**Pièce 28** Types de logements caractéristiques des quartiers de type 1 ..... 45

**Pièce 29** Quartier 1 — Aménagement conventionnel de type banlieue ..... 46

**Pièce 30** Types de logements caractéristiques des quartiers de type 2 ..... 47

**Pièce 31** Quartier 2 — Lotissement de densité moyenne ..... 48

**Pièce 32** Types de logements caractéristiques des quartiers de type 3 ..... 47

**Pièce 33** Quartier 3 — Lotissement néo-traditionnel ..... 50

**Pièce 34** Évaluation des scénarios de quartiers : Émissions annuelles de GES attribuables aux déplacements, par ménage ..... 51

**Pièce 35** Évaluation des scénarios de quartiers : Propriété d'une automobile par ménage ..... 51

# 1. INTRODUCTION

En conséquence du Sommet de Kyoto, tenu en décembre 1997, le gouvernement fédéral élabore des stratégies pour permettre au Canada d'atteindre son objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) de 6 %, par rapport aux niveaux de 1990, d'ici 2008 à 2012. Le transport urbain contribue largement et de plus en plus aux émissions de GES au Canada, surtout à cause de l'utilisation croissante de véhicules automobiles privés. Bon nombre d'études, y compris des travaux courants et antérieurs de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), démontrent l'existence d'un lien solide entre, d'une part, la propriété et l'usage d'une automobile, et d'autre part, la façon dont les collectivités sont planifiées, conçues et mises en oeuvre. Jusqu'à présent, on s'est moins préoccupé de modéliser les tendances en matière de moyens de transport et les réductions de la consommation énergétique et des émissions de gaz d'échappement, qui découleraient de scénarios de rechange pour l'aménagement.

La présente étude vise à élaborer un outil quantitatif pour évaluer les propositions d'aménagement sur le plan des émissions de GES provenant du transport urbain. L'étude compare les émissions provoquées par le transport urbain personnel, compte tenu de fluctuations dans la planification communautaire et des variables de conception comme la densité et la composition de l'utilisation des terrains. Cette information donnera de précieux renseignements sur la façon de concevoir et de planifier des collectivités pour réduire les émissions de GES provenant de l'usage d'automobiles privées. L'outil élaboré dans le cadre de la présente étude aidera les utilisateurs à comparer et à évaluer les niveaux d'émissions à partir d'une gamme de propositions d'aménagement avec différentes formes urbaines et caractéristiques d'emplacement.

Le présent rapport résume l'analyse et les résultats, tout en aidant l'usager à utiliser le chiffrier électronique d'évaluation.

# 2. ÉLABORATION DE L'APPROCHE

Une analyse documentaire a contribué à déterminer des approches employées dans des études précédentes portant sur les répercussions de la conception urbaine sur l'usage des véhicules privés. Une récente étude menée pour la SCHL, *The Impact of Urban Form and Travel Accessibility on Private Vehicle Use: Literature Review*, a fourni des renseignements sur la gamme de méthodes employées, et a contribué à sélectionner les plus appropriées pour élaborer le modèle et l'outil d'évaluation.

Le modèle, sur lequel se base l'outil d'évaluation de quartier, reproduit le mieux les relations empiriques entres les variables. Étant donné que cet exercice avait pour but d'élaborer un « outil quantitatif », l'analyse de régression multivariée est la méthode la plus appropriée, car elle produit une équation pouvant servir à quantifier mathématiquement les relations, et peut refléter l'effet cumulatif de plusieurs facteurs influençant le comportement des voyageurs.

Il y a de nombreux avantages à mener une telle analyse au niveau des ménages, étant donné que c'est là que se prennent la plupart des décisions sur les voyages et les emplacements. Par exemple, la décision de posséder un certain nombre de véhicules est normalement prise dans le ménage et, comme le confirme cette étude, la propriété d'un véhicule est un indicateur clé de son utilisation. D'autre part, la plupart des variables de quartier, comme la densité et la composition de l'utilisation des terrains, sont disponibles uniquement au niveau des zones.

L'analyse présentée dans cette étude se base sur des données zonales. Puisqu'il s'agit d'examiner les quartiers et leur rendement, nous avons estimé qu'une approche zonale était préférable. Il importe cependant de reconnaître qu'elle pourrait masquer certaines des véritables relations de comportement qui, autrement, se manifesteraient au niveau des ménages.

Pour cette analyse, nous avons tenu compte de toutes les catégories de buts de voyages, en supposant que les voyages effectués à différentes fins puissent être modélisés selon les mêmes variables.

Pour quantifier les liens entre la forme urbaine et la quantité totale de gaz à effet de serre produits au cours des déplacements quotidiens, il faut quantifier à la fois l'usage des automobiles et celui des moyens de transport en commun. Étant donné que l'on se penche surtout sur les émissions de GES, il convient d'examiner les véhicules-kilomètres de déplacement (VKD), par opposition aux autres indicateurs comme les proportions d'utilisation des moyens de transport. De même, l'utilisation des transports en commun sera mesurée en passagers-kilomètres de deplacement (PKD).

Le plus souvent, les variables indicatrices sont normalisées au moyen d'un dénominateur comme les personnes, les ménages ou les quartiers et villes, selon le niveau d'agrégation employé. Pour notre étude, nous avons normalisé les VKD et les PKD selon le nombre de ménages de chaque zone, de sorte que les variables dépendantes sont VKD par ménage et PKD par ménage.

Selon d'autres études, l'usage d'une automobile dépend de nombreux facteurs, y compris ceux qui ont trait à la forme urbaine. On s'entend généralement pour indiquer que les variables suivantes liées à la forme urbaine ont une influence quelconque sur l'usage des automobiles :

- *Densités de la population et de l'emploi.* Bon nombre d'études montrent que les densités influent sur les variables de comportement en voyage comme la propriété et l'usage d'une auto. Cependant, l'influence de la densité peut être surestimée dans les études ne tenant pas compte d'autres variables, comme le revenu du ménage, qui sont reliées à la densité.

- *Composition de l'utilisation des terrains.* La composition mixte de l'utilisation des terrains donne lieu à un plus grand nombre d'« occasions d'intervention » et à des voyages de plus courte durée, qui favorisent la marche, l'usage de la bicyclette ainsi que des transports en commun.

- *Accessibilité des moyens de transport en commun.* Un meilleur service de transport en commun et des niveaux d'accessibilité plus élevés sont reliés à un usage plus approfondi du transport en commun, mais ce service dépend aussi d'autres facteurs comme la densité.

- *Variables socio-économiques.* En particulier, l'usage d'une automobile est relié à la propriété d'un véhicule, laquelle, à son tour, s'est révélée dépendante d'autres variables socio-économiques (p. ex., le revenu et la taille d'un ménage).

- *Accessibilité régionale.* La recherche a montré que la facilité d'accès à des emplois et activités régionaux par transport en commun influe sur le choix du moyen de transport.

## Sommaire et directives sur des modèles

Selon l'analyse documentaire, il est plutôt préférable d'élaborer un modèle basé sur une régression multivariée liant une variable dépendante, comme l'usage d'une automobile par ménage, à un nombre de variables explicatives (aussi appelées variables indépendantes). Les principaux problèmes méthodologiques exposés dans le cadre de l'analyse documentaire sont :

- l'isolation des répercussions de la conception des quartiers par rapport aux répercussions des facteurs liés à l'emplacement;

- le choix des variables indicatrices les plus appropriées (c'est-à-dire, variables dépendantes); et
- la détermination de la façon dont chaque variable indépendante influe sur les variables dépendantes, et les dispositions à prendre pour que les variables indépendantes soient dûment spécifiées dans l'équation de régression, afin de réduire la covariance entre elles.

En outre, en vue d'élaborer un outil convivial pour évaluer la durabilité de quartier, il est souhaitable de mettre au point un modèle où les variables explicatives à spécifier seraient celles que l'utilisateur peut contrôler ou prédire avec assez de certitude. Étant donné que la propriété d'un véhicule automobile en soi peut être prédite à partir de certaines des mêmes variables indépendantes applicables aux déplacements en véhicule privé et par transport en commun, nous avons décidé de modéliser cette variable séparément, puis d'utiliser le résultat pour prédire le comportement en voyage. Cette approche, décrite au chapitre 4, est appelée « régression simultanée ».

# 3. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DE VARIABLES

La présente section décrit les échantillons d'ensembles de données et permet d'acquérir, au moyen d'une analyse à variable simple, une compréhension initiale de la forme urbaine ainsi que les facteurs de conception de quartier susceptibles d'influencer les émissions de GES. On y trouve des descriptions détaillées des variables employées, ainsi qu'un exposé sur la façon dont chaque variable doit contribuer à prédire les émissions de GES, dans le modèle final à régression multivariée, comme la force prédictive prévue de la variable ou sa forme fonctionnelle la plus appropriée (p. ex., linéaire ou logarithmique).

Soulignons que les résultats de l'analyse de régression multivariée, décrits au chapitre 4, peuvent différer de ceux qui découlent de cette analyse initiale. Les différences entre les deux analyses soulignent l'utilité de l'approche multivariée pour ce qui est d'isoler les contributions de chaque variable prédictive aux déplacements d'un ménage. **La régression multivariée fournit, à la longue, la base nécessaire pour inclure la variable donnée dans le modèle final.**

Étant donné que nous présumons que les émissions de GES dépendent surtout du nombre de déplacements effectués en automobile, pour l'analyse du présent chapitre, seules les relations entre les variables explicatives et l'usage d'une automobile sont décrites en détail. Bien entendu, les véhicules de transport en commun dégagent également des GES, mais à beaucoup moins par personne transportée (selon des facteurs de charge raisonnables comme ceux des zones bâties du Grand Toronto). À la fin du présent chapitre, on trouvera un bref exposé consacré aux variables ayant une incidence sur les PKD en transport en commun, et le chapitre suivant donne des renseignements supplémentaires décrivant l'élaboration du modèle proprement dit. Le chapitre 4 décrit aussi comment les estimations de déplacements sont converties en émissions de GES.

## Description de l'ensemble de données et du contexte géographique

La principale source de données sur les modes de transport et les VKD en automobile dans la région du Grand Toronto (RGT) est le Transportation Tomorrow Survey (TTS) de 1996. Il s'agit d'un des plus grands sondages du genre mené en Amérique du Nord et il se base sur un échantillon de 115 000 ménages (5 %) dans cette région. Les données provenant du TTS sont théoriquement disponibles à n'importe quel niveau d'agrégation. Pour notre étude, nous avons choisi le niveau d'agrégation des zones de circulation, aux fins d'analyse. Les zones de circulation sont un moyen commode de résumer les données sur les déplacements et sont également compatibles avec la nécessité de faire des comparaisons au niveau des quartiers. Dans la région du Grand Toronto (y compris Hamilton-Wentworth), il existe 1 404 zones de circulation. La région métropolitaine de recensement (RMR) de Toronto, qui est le point central de la présente étude, contient quelque 832 secteurs de recensement, ou 1 036 zones de circulation. Initialement, nous avions envisagé d'utiliser toute la RGT, mais nous avons découvert que des zones d'autres RMR (Oshawa et Hamilton) ne semblaient pas adaptées à certaines formes relationnelles, de la même façon que les zones situées uniquement dans la RMR de Toronto. On peut largement expliquer ce fait par l'autonomie des RMR, de sorte que seules les zones situées dans la RMR de Toronto ont été incluses. En général, les zones ont une taille d'environ 6 km², bien que celles situées dans les secteurs bâtis occupent généralement une surface d'un à 2 km². Le nombre moyen de ménages par zone de circulation est de 1 290, mais la gamme oscille entre 0 et 10 000.

La pièce 1 montre un contexte géographique pour l'étude en indiquant les zones de circulation de la RGT, par rapport aux limites politiques, à l'infrastructure ainsi qu'aux limites proprement dites de la RMR de Toronto.

Pièce 1
Contexte geographique

Elle montre aussi les limites du « secteur interne » et des « banlieues internes ». Ce secteur interne est légèrement plus grand que la vieille ville de Toronto. Les banlieues internes désignent la zone située dans la ville de Toronto (l'ancienne agglomération torontoise), mais pas le secteur interne. Les autres zones situées dans la RMR, mais hors de la ville de Toronto, sont appelées les banlieues externes. Ces trois secteurs sont mentionnés uniquement aux fins de description et ne sont pas utilisés dans la spécification du modèle final.

Parmi les 1 036 zones de circulation dans la RMR de Toronto, certaines avaient en fait très peu de répondants, ce qui a suscité un grand écart entre les données sur les déplacements relatifs à ces zones. Par conséquent, les données provenant de zones ayant moins de trois ménages répondants n'ont pas été incluses dans l'analyse, ce qui a réduit l'échantillon de 231 zones de circulation. Dix autres zones ont également été enlevées de l'étude, car elles étaient, de toute évidence, des cas particuliers, l'inspection ayant montré que toutes sauf une avaient moins de 10 ménages répondants. À la fin, des données de 795 zones de circulation ont été conservées aux fins d'analyse et d'élaboration du modèle[1].

## Définition de la variable dépendante

Tel que décrit ci-dessus, toutes les données sur les déplacements utilisées dans notre étude sont élaborées au niveau des zones de circulation. Étant donné que celles-ci varient selon la superficie des terrains, la population et l'emploi, il est nécessaire d'établir une mesure normalisée des VKD (c'est-à-dire, la variable dépendante).

La méthode choisie pour élaborer la partie VKD en auto de la variable dépendante se base sur une approche de calcul en chaîne, où les déplacements quotidiens effectués par une personne sont traités sous forme d'une seule chaîne. Par exemple, une personne peut se rendre de son domicile à son lieu de travail, puis au gymnase et finalement rentrer chez elle. Chacun de ces segments individuels de déplacement et le moyen de transport adopté dépendra des caractéristiques de la personne, y compris de l'emplacement du domicile. Il est donc raisonnable d'attribuer tous les VKD parcourus par une personne à son lieu de résidence. La somme des VKD correspondant à tous les individus vivant dans une zone déterminée représenterait « l'effort de déplacement » total pour cette zone. On normalise celui-ci en le divisant par le nombre de ménages de la zone.

Dans les étapes initiales de notre étude, nous avons exploré d'autres méthodes de normalisation de la variable dépendante, comme l'utilisation des VKD par personne, mais, dans tous les cas, les VKD par ménage étaient beaucoup mieux « ajustés » à l'analyse de régression. Tel qu'indiqué plus loin, étant donné qu'il y a des différences dans les tailles des foyers selon l'emplacement, il est nécessaire d'intégrer cette taille dans l'équation de régression à titre de variable indépendante, lorsque la variable dépendante est exprimée relativement au ménage.

## Variables explicatives

Dans les sections ci-après, on utilise les VKD en automobile comme principale variable dépendante pour examiner individuellement les influences des divers facteurs (au moyen d'une régression univariée) sur les émissions de GES. Ces facteurs peuvent généralement s'ajuster à l'une de trois catégories : variables socio-économiques, caractéristiques d'emplacement (contexte urbain) et caractéristiques de quartier.

Une faiblesse notable de l'analyse univariée est que ce qui semble être l'effet d'une variable sur la variable dépendante peut être en réalité attribuable à d'autres variables qui lui sont corrélées. À cause de cette lacune, le présent chapitre insiste sur les principales variables provenant d'une analyse plus approfondie avec régression multivariée. Il est utile d'examiner d'abord le pouvoir d'estimation statistique des variables indépendantes envisagées pour une inclusion dans le modèle. Cette compréhension initiale de l'influence apparente de variables séparées sur les variables dépendantes contribue à décrire pourquoi nous avons initialement envisagé la variable en question, mais, à cause

d'une covariance entre les variables, il ne faut pas oublier que cette méthode donne seulement une indication approximative du fonctionnement des variables. Les variables explicatives individuelles peuvent fonctionner tout à fait différemment dans une analyse à régression multivariée, par rapport aux régressions univariées. Un exemple est la composition de l'utilisation des terrains, qui ne semblait pas être un prédicteur particulièrement fort dans l'analyse univariée, mais s'est révélé être une forte variable explicative dans le modèle multivarié des VKD en automobile.

**Variables socio-économiques et VKD**

Nous traitons ici de la façon dont diverses variables socio-économiques peuvent influer sur les VKD. Dans l'élaboration de scénarios sur les quartiers (chapitre 5), les variables socio-économiques demeurent constantes, bien qu'elles puissent être modifiées par les utilisateurs d'un chiffrier électronique, si l'on connaît les renseignements sur les tailles, les revenus et les étapes d'évolution des ménages pour lesquels on prévoit de commercialiser un lotissement.

***Structure, taille et composition par âge des ménages***

La structure et la taille d'un ménage peuvent influer sur le comportement et les modes de déplacement. Toutefois, à mesure que les structures de ménage deviennent plus complexes, les modes de déplacement en font autant. Depuis quelques années, on constate une tendance à un rapetissement des ménages, ainsi qu'une plus forte proportion de ménages à plusieurs travailleurs (Schalaby 1998). Avec deux travailleurs par ménage, il est généralement plus difficile d'optimiser les emplacements résidentiels et d'emploi.

Bien qu'il serait difficile de contrôler la structure des ménages dans l'élaboration d'un quartier, il est néanmoins important de comprendre les relations entre la structure d'un ménage et l'activité de déplacement, au moins sur le plan de la taille du ménage.

Bien entendu, la taille d'un ménage influe également sur les VKD en automobile. L'effet apparent de cette taille est exagéré par les facteurs d'emplacement. Par exemple, dans une gamme d'environ 2,5 à 3,5 personnes par ménage, les VKD en automobile sont beaucoup plus nombreux dans des ménages de même taille, situés dans les banlieues externes, que dans les banlieues internes, où les niveaux sont eux-mêmes plus élevés qu'au centre-ville. En établissant le graphique des VKD par rapport à la taille moyenne d'un ménage (personnes par ménage), on constate que la valeur $R^2$ était juste un peu supérieure à 0,2, ce qui n'indique qu'une faible corrélation positive[2].

Il est largement reconnu que le nombre et le mode des déplacements varieront selon l'étape d'une personne dans la vie. En général, les gens de 35 à 55 ans ont tendance à faire le plus grand nombre de voyages en auto, lorsque ce chiffre est exprimé par personne (IBI Group, 1997). Des gens de cette même catégorie d'âge ont aussi tendance à faire une plus petite proportion de déplacements par transport en commun, en comparaison avec d'autres catégories d'âge. L'usage des transports en commun a tendance à être plus prononcé chez les jeunes adultes (p. ex., de 18 à 24 ans).

En établissant le graphique des VKD en automobile par personne, par rapport au pourcentage de résidants dans une zone ayant moins de 16 ans, on constate une très faible tendance à l'augmentation des VKD par personne et par structure d'âge. Toutefois, dans les banlieues internes et externes, on peut remarquer plutôt une légère tendance à la diminution des VKD avec un pourcentage croissant de jeunes. Nombre d'autres facteurs liés aux ménages et aux emplacements, en matière de distribution de l'âge, semblent l'emporter sur les répercussions éventuelles de cette distribution.

Par conséquent, lorsque l'âge devient important dans la présente analyse, c'est sur le plan de sa distribution spatiale. Par exemple, les jeunes familles peuvent avoir tendance à emménager dans les banlieues extérieures de la RGT, où les logements sont plus économiques, exerçant une

influence sur les modes spatiaux du rapport VKD/ménage. Les données de la TTS suggèrent que c'est bel et bien le cas.

Les données sur la distribution de l'âge peuvent être employées en même temps que l'information sur la taille d'un ménage pour déterminer le nombre moyen d'adultes (résidants de plus de 16 ans) par ménage. Une valeur supérieure à 2 pour cette variable reflète la présence de familles où habitent encore des enfants plus âgés. Cette variable devrait expliquer certaines décisions de déplacement prises par un ménage, mieux que la variable formée du total des personnes faisant partie du ménage, car les décisions sont prises essentiellement par les adultes, voire les conducteurs dans le ménage. Par exemple, la droite de régression linéaire la plus ajustée pour la comparaison entre la propriété d'une auto dans un ménage et le nombre d'adultes du ménage avait une valeur $R^2$ modérée de 0,381 et une $R^2$ de 0,18 pour ce qui est de prédire le nombre de VKD en auto par ménage. (Une ligne de régression à logarithme naturel ou linéaire n'a fourni qu'un ajustement légèrement meilleur pour prévoir la propriété d'une automobile, avec une valeur $R^2$ de 0,42; la forme linéaire est conservée dans le modèle multivarié pour plus de simplicité.)

***Revenu moyen***

En général, on s'attend à ce que des revenus supérieurs mènent à une plus grande capacité d'acheter et d'utiliser les automobiles et, par conséquent, à une plus grande propension à voyager en auto. Deux mesures du revenu ont été envisagées pour la prédiction du comportement en voyage : le revenu d'emploi moyen (calculé uniquement pour tous les travailleurs, tant à plein temps qu'à temps partiel) et le revenu moyen d'emploi d'un ménage. Les données sur le revenu d'emploi moyen et les taux de participation de la main-d'oeuvre active, pour chaque secteur de recensement, sont disponibles à partir du Recensement de 1996, dont les statistiques permettent de calculer le revenu moyen d'emploi d'un ménage[3].

Les données de notre étude révèlent une légère corrélation positive entre les VKD par ménage et le revenu moyen d'emploi. À l'échelle de la RMR, les ménages dans les zones à catégories de revenu moyen ont tendance à présenter le plus grand nombre de VKD par ménage, tandis que les zones où l'emploi moyen est plus faible et plus élevé présentent un plus petit nombre de VKD par ménage. Bien que l'usage du revenu moyen à titre de variable explicative semble limité en soi, l'impact cumulatif des niveaux de revenu sur les VKD en automobile est plus apparent lorsqu'on peut isoler leurs effets des répercussions d'emplacement, comme c'est le cas dans la régression multiple.

***Propriété d'une automobile***

La disponibilité des automobiles est sans aucun doute un facteur clé des décisions relatives aux déplacements. La pièce 2 donne des renseignements sur la corrélation entre la propriété d'une auto et le rapport des VKD en auto par ménage. Tel qu'indiqué, la relation est très prononcée. Il est important de reconnaître que la plupart des zones comptant le plus grand nombre de propriétaires d'autos se trouvent dans les secteurs extérieurs de la RGT, tandis que la plupart des zones ayant moins de propriétaires d'autos se situent dans les secteurs intérieurs. Cependant, dans chacune de ces catégories d'emplacement, on constate une tendance prononcée à l'augmentation des VKD en automobile, avec la hausse du nombre de propriétaires d'autos. Dans l'ensemble, une relation exponentielle semble plus ajustée aux données qu'une relation linéaire ($R^2$ de 0,72 par opposition à $R^2$ de 0,61).

La propriété d'une auto est influencée par un certain nombre de variables socio-économiques et d'emplacement. Une récente étude de Schimek (1996) portant sur les répercussions de la propriété d'un véhicule dans un ménage a conclu que les principaux déterminants statistiques du nombre de véhicules par ménage sont le revenu et la taille du ménage, ainsi que le nombre de travailleurs qu'il contient. Dans une autre étude par Hunt Anatytics Inc. (1999), la taille du

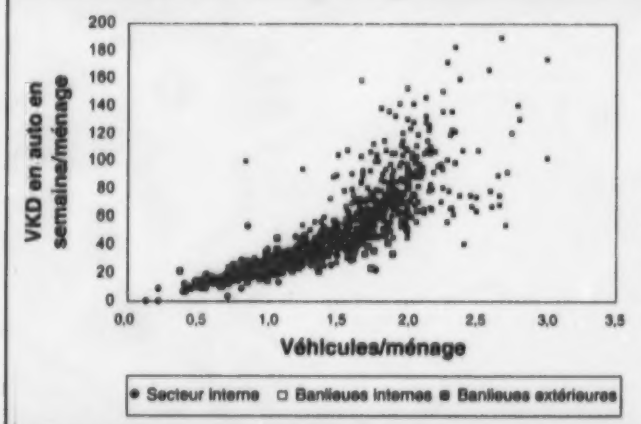
ménage, l'accessibilité à une automobile dans la zone de résidence et le revenu du ménage étaient considérés comme les facteurs influant le plus sur la propriété d'une auto.

La pièce 3 (tirée des données de la TTS) suggère qu'il y a des différences dans la propriété d'une auto et d'autres facteurs, selon l'emplacement. Les relations entre ces variables sont explorées au chapitre 4, au moyen d'une régression multivariée.

Un important facteur de l'élaboration des modèles consiste à limiter le plus possible les variables d'entrée à celles qu'un planificateur ou un promoteur peut directement contrôler. À ce titre, la propriété d'un véhicule est considérée comme une variable dépendante intermédiaire du modèle, lequel est lui-même une fonction d'autres facteurs socio-économiques, de la conception de l'emplacement ainsi que du quartier.

En outre, à cause de l'étroite corrélation entre la propriété d'une auto et les VKD, et de la forte influence des facteurs de quartier et socio-économiques sur les deux variables, les deux variables dépendantes ont fait l'objet d'une régression simultanée dans la régression multivariée. On a utilisé une régression simultanée pour cette étude, comme le détaille le chapitre 4.

Pièce 2
Rapports entre les VKD en automobile/ménage et la propriété d'un véhicule




**Caractéristiques d'emplacement**

Dans notre étude, les caractéristiques d'emplacement comprennent celles d'un quartier qui définissent où celui-ci est situé dans la zone urbaine. L'emplacement spatial d'un quartier dans une grande zone urbaine influe sur d'autres caractéristiques d'emplacement de quartier comme la proximité des services de transport en commun, des emplois et des principales activités. Les sections suivantes fournissent un examen préliminaire des relations possibles entre les caractéristiques d'emplacement et le nombre de VKD en automobile.

Pièce 3
Rapports entre les tendances de la propriété d'un véhicule et les facteurs socio-économiques et attributs des quartiers

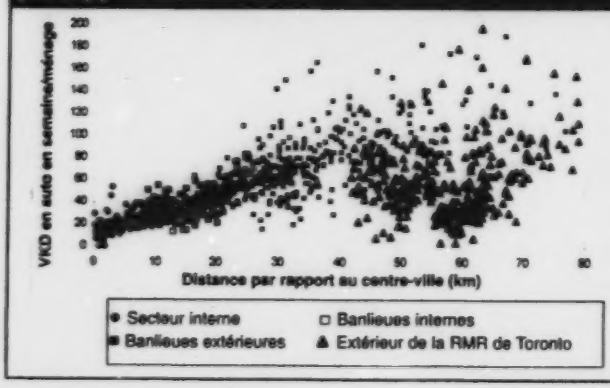
| | Secteur interne | Banlieues internes | Banlieues extérieures |
|---|---|---|---|
| Automobile/ménage | 0,60 | 1,21 | 1,72 |
| Pourcentage de ménages sans véhicule | 51 % | 25 % | 6 % |
| Pourcentage de la pop. ayant un permis de conduire | 67 % | 80 % | 86 % |
| Revenu moyen | 33 397 $ | 31 993 $ | 34 350 $ |
| Pourcentage des ménages vivant dans des maisons individuelles isolées | 3 % | 35 % | 62 % |

***Distance par rapport au centre-ville***

La pièce 4 montre la relation entre le nombre de VKD en auto par ménage et la distance par rapport au centre-ville. Pour les zones situées dans la RMR de Toronto, elle indique une augmentation claire et linéaire des VKD en auto par quartier, à mesure que s'accroît la distance par rapport au centre-ville. La pièce 4 comprend des données pour les zones de circulation à l'extérieur de la RMR de Toronto. Comme on pouvait s'y attendre, pour ces zones, la relation devient moins distincte, peut-être en raison du fait que nombre de ces zones sont plus autonomes et dépendent moins du centre-ville de Toronto à titre de destination de déplacements domicile-travail (surtout Hamilton, Burlington, etc.). Ce fait explique en partie notre décision de limiter l'analyse pour notre étude à la RMR de Toronto. Cependant, cela suggère aussi qu'il serait utile d'explorer une variable d'emplacement basée sur la distance par rapport au centre-ville ou au noeud le plus rapproché (p. ex., North York Centre, Scarborough Centre, etc.), en plus d'une variable basée uniquement sur la distance par rapport au centre-ville, tel qu'indiqué dans la section suivante.

La pièce 5 souligne davantage la relation entre l'emplacement et le nombre moyen de VKD par ménage. En général, les zones les plus proches des centres-villes, ainsi que des gares de transport rapide et des gares du réseau GO Transit présentent une plus faible densité de déplacements en automobile.

Pièce 4
Rapports entre les VKD en automobile et la distance par rapport au centre-ville



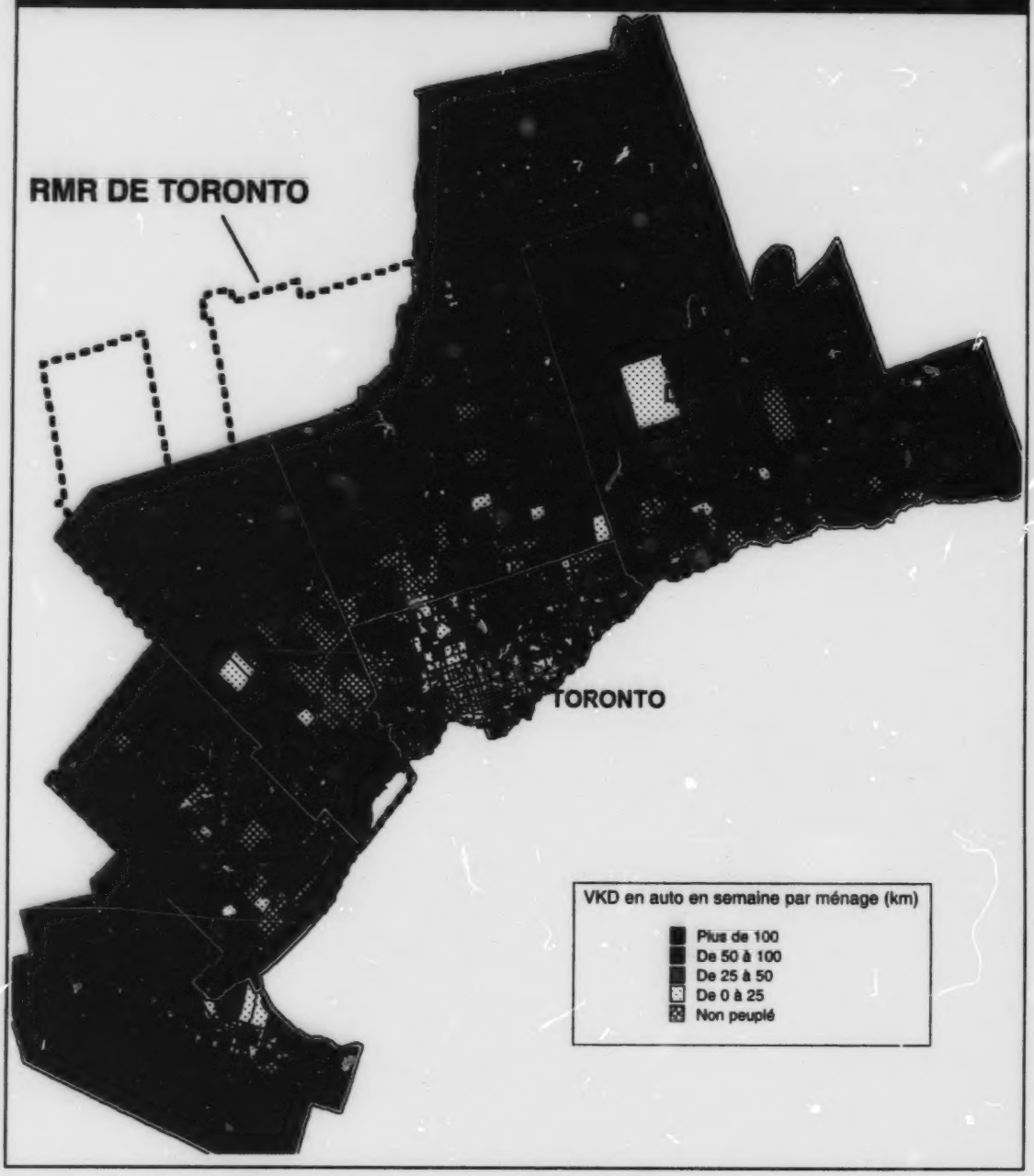

À peu près un emploi sur 13 dans la RMR de Toronto est situé au centre-ville, conformément à la définition typique[4]. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que plus une zone est éloignée du centre-ville, plus forte sera la probabilité que les gens voyagent davantage (en moyenne) pour se rendre au travail. Cette hypothèse est corroborée par le fait que la densité moyenne des emplois diminue avec la distance par rapport au centre-ville. Par conséquent, les travailleurs habitant dans les banlieues extérieures devront voyager plus longtemps, en moyenne, que ceux qui habitent plus près du centre métropolitain, sauf les personnes vivant à proximité des centres d'emploi infrarégionaux comme Oshawa.

Bien qu'il y ait une forte probabilité que l'emploi d'un travailleur soit situé à proximité du centre-ville ou dans celui-ci, d'autres caractéristiques du centre-ville sont également importantes, comme le fait qu'il s'agisse d'un carrefour important pour les services de transport en commun dans la RGT. En partie à cause des aménagements historiques et du fait que bon nombre de gens travaillent au centre-ville, la plupart des services de transport en commun dans la RGT sont axés sur le centre-ville. Ce fait a tendance à augmenter la proportion d'utilisation du transport en commun pour les déplacements en direction du centre-ville, entraînant une réduction correspondante du nombre de VKD en auto.

***Distance par rapport au noeud d'emploi le plus près***

Il est raisonnable de s'attendre à ce que la proximité des noeuds d'activités concentrées puisse aussi faire diminuer le nombre de VKD par ménage. Une récente étude par IBI Group (1997) définissait 29 noeuds de grande importance dans la RGT. En utilisant ces définitions, on constate une tendance générale à l'augmentation des VKD avec l'accroissement de la distance par rapport au noeud d'emploi le plus

Piece 5
Repartition spatiale des VKD en automobile en semaine/menage




proche, mais la plupart des données se trouvent à une distance d'un à sept kilomètres du noeud le plus près, de sorte qu'aucune tendance nette ne peut être observée à cet égard.

Cette variable ne tient malheureusement pas compte du caractère attrayant du noeud d'emploi, sur le plan du nombre d'emplois. Autrement dit, on accorde la même valeur à une distance égale

par rapport à des noeuds d'emploi, quel que soit l'attrait présenté par ceux-ci. On peut supprimer cette lacune au moyen d'une variable quantifiant la proximité par rapport à un emploi (voir ci-après).

***Proximité par rapport à un emploi***

Dans notre analyse, la proximité par rapport à un emploi, pour une zone de circulation, a été mesurée sous forme du nombre d'emplois situés dans un certain rayon par rapport au centre de gravité démographique de la zone de circulation.

La première mesure utilisait un rayon d'un kilomètre, ce qui représente une distance raisonnable à pied pour se rendre au travail ou à des services. Le cercle défini par ce rayon n'englobe souvent que quelques zones de circulation entières ou partielles. Par conséquent, l'emploi a été calculé selon les zones et les densités d'emploi des parties des zones de circulation qui se situent à l'intérieur du cercle, pour une valeur équivalente d'emplois dans un rayon d'un kilomètre. La pièce 6 montre que, pour chaque zone géographique, le nombre moyen de VKD par auto diminue avec l'augmentation des emplois sur un kilomètre, dans presque tous les cas. La valeur $R^2$ pour une régression linéaire logarithmique est relativement élevée (0,61).

Une deuxième mesure de la proximité par rapport à un emploi utilisait un plus grand rayon : cinq kilomètres et a produit des résultats semblables. La pièce 7 montre que, pour chaque zone géographique, le nombre moyen de VKD en auto par ménage diminuait lui aussi à mesure qu'augmentait le nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres du centre de gravité de la zone de circulation. Toutefois, la deuxième mesure de proximité d'emploi est, plus que la première, reliée à la distance par rapport au centre-ville. La valeur $R^2$ pour la courbe linéaire logarithmique la plus ajustée à cette mesure est de 0,694, soit plus élevée que la mesure précédente. En fait, le nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres du centre de gravité de quartier pourrait être une bonne approximation et une bonne amélioration de la distance par rapport au nœud d'emploi le plus rapproché, car on tient maintenant compte du caractère attrayant de ce nœud sur le plan des perspectives d'emploi et des services disponibles.

***Proximité par rapport aux nœuds de transport en commun***

Dans le cas de Toronto, des zones situées à une distance accessible à pied des gares de transport rapide (TR) présentent une utilisation des transports en commun plusieurs fois supérieure à celle que l'on constate dans les zones situées

Pièce 6
Nombre d'emplois dans un rayon d'un kilomètre et VKD moyens en auto/ménage

| | 0 à 500 emplois | 500 à 2 000 emplois | 2 000 à 5 000 emplois | Plus de 5 000 emplois |
|---|---|---|---|---|
| **Zone géographique** | **VKD/ménage** | **VKD/ménage** | **VKD/ménage** | **VKD/ménage** |
| Secteur interne | * | 21 | 26 | 18 |
| Banlieues internes | 66 | 38 | 30 | 28 |
| Banlieues extérieures | 87 | 62 | 49 | 33 |
| **TOTAL** | **87** | **54** | **38** | **23** |

Note :

* Les données sont insuffisantes pour une comparaison.

Pièce 7
Nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres et VKD moyens en automobile

| Zone géographique | 0 à 20 000 emplois<br>VKD/ménage | 20 000 à 50 000 emplois<br>VKD/ménage | 50 000 à 100 000 emplois<br>VKD/ménage | Plus de 100 000 emplois<br>VKD/ménage |
|---|---|---|---|---|
| Secteur interne | * | 1 | 29 | 19 |
| Banlieues internes | 65 | 43 | 32 | 30 |
| Banlieues extérieures | 85 | 60 | 43 | 44 |
| TOTAL | 85 | 59 | 37 | 28 |

beaucoup plus loin de ces gares. Il en va de même pour les zones proches des gares de trains de banlieue (gares GO Transit). En général, il existe une forte corrélation linéaire entre la distance par rapport à une gare de transport rapide ou à une gare GO Transit, et le nombre de VKD par ménage.

Il y a plusieurs façons d'intégrer au modèle une mesure de la distance par rapport aux gares de transport en commun. L'une d'elles consiste à prendre la plus faible des deux valeurs suivantes : la distance par rapport à une gare de transport rapide ou à une gare GO Transit. Une deuxième consiste à créer deux variables binaires séparées (dont les valeurs sont de 0 si elles sont fausses ou de 1 si elles sont vraies) pour indiquer si la zone se trouve à un kilomètre d'une gare de transport rapide ou à un kilomètre d'une gare GO Transit. Les deux approches ont fait l'objet d'un test dans le modèle.

***Accessibilité et service relatifs au transport en commun local***

Les résidants sont plus susceptibles de choisir d'utiliser des services de transport en commun locaux lorsque ceux-ci sont plus attrayants dans leur quartier que l'usage d'une automobile.

Les renseignements sur les transports en commun ont été fournis par la Toronto Transit Commission (TTC), qui dessert la ville de Toronto. La mesure du service de transport en commun n'a pas été facile. Pour que la taille et la forme de la zone de circulation ne faussent pas la mesure de la proximité par rapport à un service local de transport en commun, nous avons fait en sorte que cette mesure tienne compte des segments d'itinéraires d'autobus traversant un cercle défini par un rayon d'un kilomètre par rapport au centre de gravité de la population de la zone de circulation. Un kilomètre, c'est une distance légèrement supérieure à celle que la plupart des gens accepteraient de franchir à pied pour prendre un autobus. En effet, une distance plus courte n'aurait pas tenu compte des itinéraires situés aux limites des zones de circulation plus périphériques et plus grandes et, par conséquent, aurait sous-estimé la disponibilité du service de transport en commun dans ces zones. Les heures de service pour ces segments sont calculées comme suit :

Heures du service hebdomadaire des autobus $= d/v^{**}f$

où

d = la longueur totale des segments d'itinéraires de transport en commun traversant un cercle ayant un rayon d'un kilomètre par rapport au centre de gravité du quartier;

v = vitesse moyenne de l'autobus (fixée à une valeur supposée de 25 km/h pour notre ensemble de données);

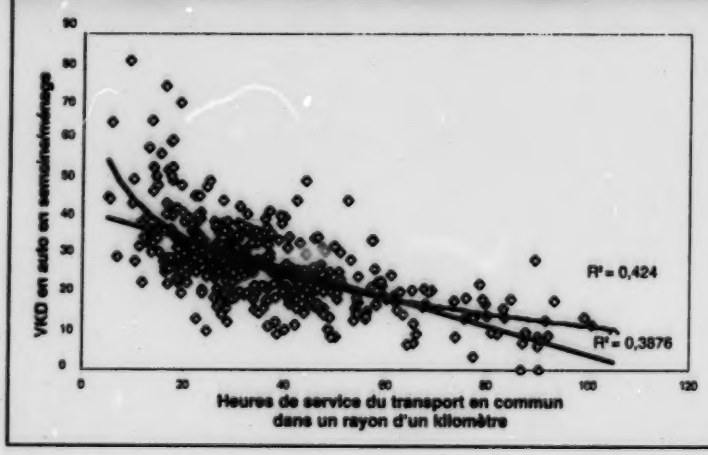
t = heures totales de service en semaine; et

f = fréquence moyenne des autobus (nombre d'autobus à l'heure).

La pièce 8 montre la relation entre le service local de transport en commun, défini ci-dessus, et le nombre de VKD en auto par ménage uniquement pour Toronto. Comme prévu, on constate une tendance générale à la diminution des VKD avec l'augmentation du service de transport en commun. La ligne de régression linéaire logarithmique faisant l'objet du graphique présente une valeur $R^2$ supérieure à la ligne de régression linéaire, indiquant « une baisse des retours », c'est-à-dire, une réduction des VKD, ou une augmentation indéfinie du service de transport en commun.

Il a été impossible de déterminer les niveaux du service de transport en commun avec autant de détail pour toute la RGT que pour Toronto (TTC), car les données relatives aux itinéraires détaillés n'étaient pas disponibles pour les services locaux de transport en commun. Une solution raisonnable a consisté à comparer les heures globales du service de transport en commun, pour chaque zone unitaire, dans diverses municipalités locales, globalement, avec celles de la ville de Toronto.

Pièce 8
Rapports entre les VKD en automobile et le service de transport en commun 7




**Caractéristiques des quartiers**

***Densité des emplois, de la population et des ménages***

Bien que bon nombre d'études montrent que la densité exerce une forte influence sur les VKD, d'autres estiment que, parce que la densité est étroitement corrélée à d'autres variables, les analyses à régression univariée surestiment son pouvoir explicatif. Par exemple, dans une étude de Hunt Analytics (1999) parrainée par la SCHL, la densité démographique et la densité de l'emploi exercent peu d'influence quand elles sont incluses dans une régression multivariée, sous forme de variables explicatives, en plus d'autres variables corrélées comme le revenu du ménage et l'accessibilité de chaque moyen de transport. Dans l'analyse des données de Toronto, on constate que la densité d'emploi est étroitement liée à la distance par rapport au centre-ville, malgré l'existence de poches où la densité d'emploi est plus forte dans les localités situées à l'extérieur de la RGT.

Pour l'enquête préliminaire, nous avons produit un graphique (non illustré) indiquant le nombre de VKD en automobile par rapport à la densité d'emploi. Il montrait une tendance générale à la diminution des VKD lorsque la densité d'emploi augmentait. En raison des différentes répercussions que la taille de la zone de circulation aurait sur la densité d'emploi, nous avons préféré une mesure plus normalisée. Une mesure de l'accessibilité d'emploi (indiquée précédemment), soit le nombre d'emplois dans un rayon d'un kilomètre par rapport au centre de gravité d'une zone, ajoutait une valeur prédictive au modèle, par rapport à la densité de l'emploi par zone de circulation.

Compte tenu de la méthodologie de notre étude, qui insiste sur l'aménagement résidentiel et le comportement d'un ménage en matière de déplacements, nous avons préféré tester la densité des *ménages* plutôt que celle de la *population*, sous forme de variable indépendante influençant les VKD en auto. Cette mesure varie aussi avec la distance par rapport au centre-ville. On constate une tendance générale vers la diminution des VKD avec l'augmentation de la densité des ménages. La valeur $R^2$ de la ligne de régression linéaire logarithmique la plus ajustée dans ce cas est de 0,56. Mais, comme nous l'indiquons dans le chapitre 4, l'effet de la densité diminue énormément dans l'analyse à régression multivariée.

Tout comme pour la densité d'emploi, on a découvert que le choix d'une zone plus normalisée que la zone de circulation, pour mesurer la densité d'habitation, s'est révélé plus ajusté au modèle. La mesure préférée pour notre étude tenait compte du nombre de logements situés dans un rayon d'un kilomètre du centre de gravité de la zone de circulation. La valeur $R^2$ de la ligne de régression linéaire logarithmique la plus ajustée dans ce cas est de 0,61.

***Composition de l'utilisation des terrains***

Hunt Analytics Inc. (1999) montre qu'une utilisation mixte des terrains à proximité des logements augmente l'usage de la marche, ainsi que l'accessibilité du transport en commun et du vélo, ce qui a pour effet de diminuer l'usage de l'automobile. Une utilisation mixte près d'un ménage signifie que celui-ci a des possibilités d'activités rapprochées et ne dépend pas autant du transport motorisé. L'envergure de la présente étude comprend seulement l'utilisation variée des terrains situés dans le quartier d'habitation d'un ménage, et non celle des terrains situés à proximité du lieu de travail ou du lieu d'autres activités fréquenté par un membre d'un ménage.

Il est difficile de quantifier la composition de l'utilisation des terrains. Une mesure simple testée était le rapport entre les emplois et la population dans un quartier ou dans un rayon d'un kilomètre du centre de gravité du quartier. Toutefois, cette mesure ne tient compte ni de la densité des emplois ni de la population. Cette variable était étonnamment faible dans l'analyse univariée du nombre de VKD en auto par ménage. La valeur $R^2$ pour la ligne de régression linéaire logarithmique la plus ajustée était inférieure à 0,01. Cet indicateur n'avait pratiquement aucun pouvoir prédictif dans les modèles multivariés initialement testés.

Une autre mesure de la composition de l'utilisation des terrains est inspirée par un indicateur employé en chimie et décrivant l'intensité du mélange de gaz; on peut l'appeler une mesure de « l'entropie ». Pour utiliser une mesure comparant des éléments similaires dans le modèle, nous avons décidé de comparer le nombre d'emplois à celui des travailleurs dans un rayon d'un kilomètre par rapport au centre de gravité du quartier.

Dans l'expression de l'entropie, le numérateur est normalisé à une valeur située entre 0 et 1, car il y a deux variables dans la composition des terrains : les travailleurs et les emplois. Une valeur nulle indique la présence d'aucun mélange, tandis qu'une valeur de 1 montre une composition mixte uniforme.

Bien entendu, il s'agit encore d'une mesure très simple de la composition de l'utilisation des terrains. La véritable composition serait modifiée par les types d'emplois et de services disponibles, à une distance accessible à pied, pour les habitants du quartier. La distribution spatiale de cette mesure semble également très aléatoire, et l'on ne peut constater aucune relation claire dans un graphique indiquant la composition de l'usage des terrains et le nombre de VKD en automobile. Toutefois, une fois combiné à d'autres variables du modèle à régression multivariée, cet indicateur se révèle tout à fait robuste, ce qui souligne la valeur des analyses multivariées pour séparer les effets cumulatifs des variables individuelles employées.

***Occasions de magasinage***

Un ménage présentant des occasions de magasinage situées à une distance à pied de son domicile devrait parcourir moins de VKD que ceux qui doivent absolument utiliser un véhicule pour se procurer des marchandises.

Nous n'avons trouvé aucune donnée résumant les emplacements des magasins dans la RGT, de sorte que nous avons dû produire un indicateur original de l'accessibilité aux magasins du quartier. Il faudrait beaucoup de temps pour essayer de noter les emplacements de tous les magasins. À la place, nous n'avons noté que les adresses des épiceries se trouvant dans les pages jaunes[5], soit au total 1 142 magasins, dont les emplacements ont fait l'objet d'une codification géographique (c'est-à-dire, de coordonnées de carte). Pour mesurer l'accessibilité d'un quartier aux magasins, nous avons pris le nombre d'épiceries situées dans un rayon d'un kilomètre du centre de gravité du quartier. Nous avons essayé d'autres mesures connexes, comme une mesure binaire indiquant la présence de magasins dans un rayon d'un kilomètre, ou le logarithme naturel du nombre de magasins, mais celles-ci ont été moins efficaces pour prédire le nombre de VKD. Pour que la mesure décrite ci-dessus rende vraiment compte de l'accessibilité totale aux magasins, il faudrait distribuer divers types de détaillants de la même façon que les épiceries. Bien entendu, ce n'est pas tout à fait le cas dans la réalité, mais la mesure semble raisonnable. Le nombre des VKD en automobile a tendance à diminuer avec l'augmentation des magasins situés dans un rayon d'un kilomètre, comme l'indique la pièce 9.

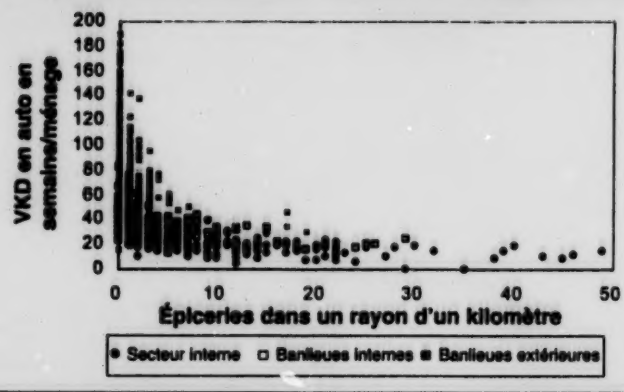
***Types de logements structuraux***

On prévoit que la relation entre le type de logement et le nombre de VKD en automobile est largement attribuable à la démographie des personnes habitant dans les différents types de logement. Autrement dit, les jeunes ménages ont plus tendance à vivre dans des logements locatifs souvent situés dans des tours d'habitation, que les ménages plus âgés, parfois plus établis et habitant dans des maisons individuelles.

Les données du recensement décrivent les types de logements. Notre analyse en examine cinq types structuraux : les maisons individuelles, les maisons jumelées, les immeubles locatifs bas et les duplex, les tours d'habitation ainsi que les maisons en rangée ou en bande.

Aux deux extrémités de la gamme des types de logements, se trouvent les maisons individuelles et les tours d'habitation. La valeur $R^2$ pour une ligne de régression linéaire applicable à une variable dénotant une maison individuelle était modérée (0,44), mais beaucoup plus faible pour les tours d'habitation (0,051). La prédominance de différents types de logements structuraux, surtout les maisons individuelles, est modérément reliée aux variables d'emplacement comme la distance par rapport au centre-ville et la densité d'habitation. Par conséquent, il faut

Pièce 9
Rapports entre les VKD en automobile et les occasions de magasinage dans un rayon d'un kilomètre



une régression multivariée pour isoler les effets des types de logements.

Le meilleur moyen d'établir la composition des logements consiste à dresser un modèle semblable à celui de la composition de l'utilisation des terrains, c'est-à-dire, d'utiliser une mesure basée sur l'entropie. Quand on établit un graphique sur les VKD en auto par rapport à la composition des logements, on constate une tendance évidente à la baisse du nombre de VKD en auto avec l'augmentation de la diversité des types de logement. La ligne de régression la plus ajustée à travers ces points avait une valeur $R^2$ modérée de 0,23.

Une variable finale liée aux structures d'habitation dans un quartier est la taille des logements. Celle-ci est mesurée par le nombre de pièces, sans compter les salles de bain, les couloirs ni les vestibules. La taille d'un logement est clairement liée à la combinaison de types de logements et à la densité d'habitation : la taille d'une grande unité moyenne de logement est incompatible avec une forte densité d'habitation, et les gros logements sont souvents des maisons individuelles. De plus, une grande taille moyenne empêche généralement les ménages plus petits ou plus jeunes de vivre dans ce quartier. Quand on établit un graphique entre les VKD en auto et la taille des logements, on constate une tendance définie à l'augmentation des VKD en auto lorsque la taille moyenne des logements augmente. La ligne linéaire logarithmique la plus ajustée à travers ces points a une valeur $R^2$ de 0,43.

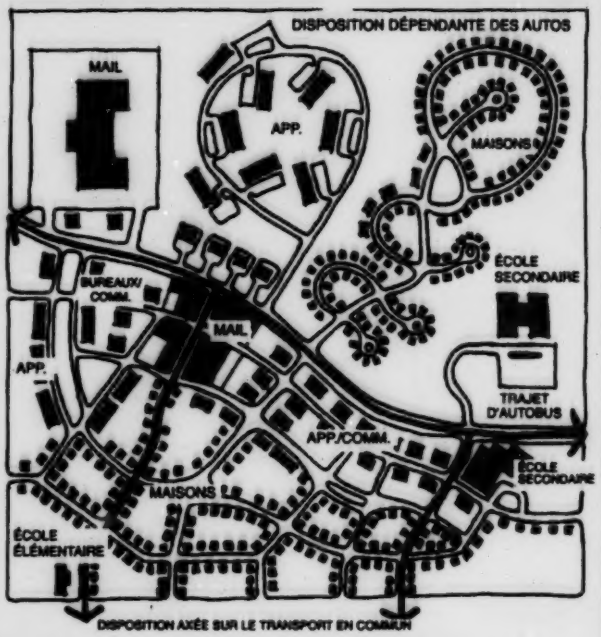
***Disposition et configuration des routes***

Il y a de nombreuses hypothèses sur la façon dont la configuration et l'étendue des routes influent sur l'usage des véhicules. En particulier, des structures cirvilignes de route tendent à augmenter les distances à pied entre les activités et à réduire l'efficacité du service de transport en commun. Ce fait est illustré par les exemples contrastants de conception de quartier, figurant à la pièce 10, où une disposition dépendante des autos est illustrée dans la partie supérieure, et une disposition axée sur le transport en commun, dans la partie inférieure.

Hunt Analytics Inc. (1999) a découvert que les dispositions régulières et rectangulaires des rues ont tendance à faire diminuer légèrement l'usage des autos, par rapport à un agencement curviligne des rues. On croit aussi que la circulation s'étend généralement pour remplir l'espace disponible pour elle. Par exemple, une étude de Hansen (1995) a découvert qu'une augmentation d'un pour cent dans les milles de voie entraîne une hausse de 0,9 % dans les VKD pendant cinq ans.

Le premier type de variables de routes exploré était leur disposition. Pour chaque zone de

Pièce 10
Disposition dépendante des autos et disposition axée sur le transport en commun




Source : Ministère des Transports et ministère des Affaires municipales de l'Ontario, 1992.

circulation située dans la RGT, les dispositions des routes ont été classifiées à la main selon les types généraux suivants (adaptés de Hunt Analytics Inc. 1999) :

- *Un réseau strictement rectangulaire*, employé pour décrire les zones contenant exclusivement des réseaux urbains, typiques des aménagements antérieurs à 1950.

- *Un réseau industriel* ajouté pour décrire les zones ayant des routes largement espacées, traversant des secteurs essentiellement industriels. Nous avons présumé que ces types de zones pourraient générer des modes de déplacement différents par rapport à la catégorie ci-dessus.

- *Un réseau essentiellement rectangulaire* comprenant des grilles avec certaines diagonales.

- *Un mélange de formes rectangulaires et curvilignes* est utilisé pour décrire les zones où il y a une prédominance de rues curvilignes mélangées avec un réseau en grille.

- *Une présentation curviligne régulière* est utilisée pour décrire les zones formées surtout de rues courbées avec au moins une certaine continuité entre les rues.

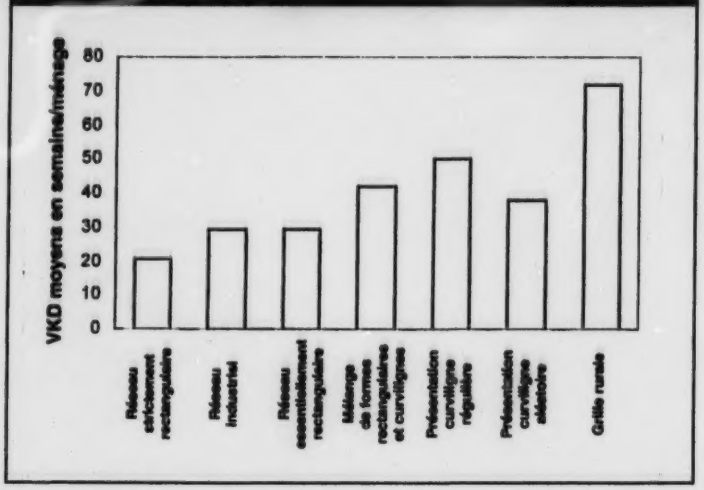
- *Une présentation curviligne aléatoire* est utilisée pour décrire les zones ayant l'aspect typique des aménagements postérieurs aux années 70, comprenant une forte proportion de rues finissant en culs-de-sac et aboutissant sur de grandes voies de communication (p. ex., la partie supérieure de la pièce 10).

- *Une grille rurale* décrit des zones situées à l'extérieur de la RGT et qui sont nettement moins aménagées et consistent en des grandes voies de communication, des chemins vicinaux et des routes rurales très dispersés.

Tel qu'indiqué à la pièce 11, il y a une très forte corrélation entre la disposition des routes et les VKD dans les zones de circulation de la région étudiée, les réseaux en grille correspondant au plus faible rapport VKD par ménage, et les grilles rurales et dispositions curvilignes correspondant à une plus forte moyenne de VKD par ménage. Comme pour la plupart des autres variables, le type de disposition de route est relié à d'autres variables comme le contexte urbain et la densité de population. Malgré cela, il semble que la disposition des routes ait un certain potentiel pour expliquer les tendances en matière de VKD.

Un autre indicateur possible de la disposition des routes est le nombre d'intersections par kilomètre de route. Il s'agit d'une mesure numérique de la connectivité des routes dans un quartier ainsi que du nombre de chemins secondaires disponibles pour les déplacements. Bon nombre de lotissements axés sur l'automobile réduisent le nombre d'intersections le long d'une chaussée, car le mouvement des véhicules est entravé aux intersections. Toutefois, ce qui aide les automobiles nuit aux piétons et aux cyclistes, car il en résulte souvent des distances déraisonnablement longues de marche pour se

Pièce 11
Rapports entre la disposition des routes et les VKD/ménage



rendre aux lieux des activités. La présence d'un réseau routier plus dense, accompagné d'un plus grand nombre d'intersections par kilomètre de route, augmente le nombre de choix d'itinéraires et accroît la possibilité d'en trouver un plus court vers la destination choisie. On a décidé d'utiliser le nombre d'intersections par kilomètre de route plutôt que le nombre d'intersections par zone unitaire, car ce dernier apporterait une discrimination contre les zones ayant de plus grands parcs ou de plus grands secteurs non aménagés, et dépourvues de routes et d'intersections. Un graphique montre que le nombre d'intersections par kilomètre de route est en fait inversement proportionnel au nombre de VKD en auto (pièce 12). La ligne linéaire la plus ajustée a une valeur $R^2$ de 0,41.

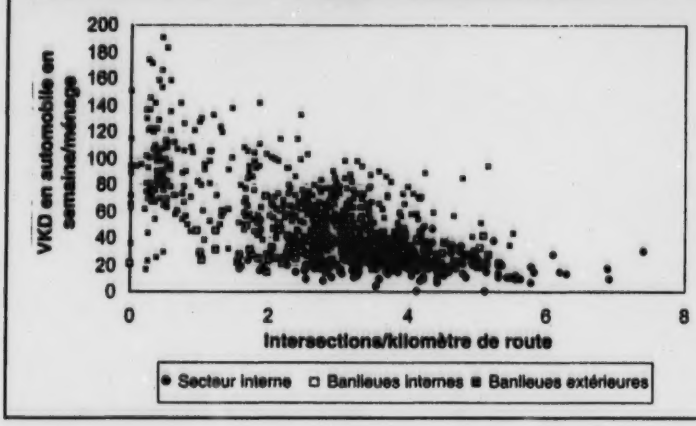
***Étendue des routes***

On prévoit qu'une augmentation du nombre des routes favoriserait l'usage des véhicules et l'augmentation des VKD. Lorsqu'on compare les VKD par ménage en auto aux kilomètres de route par ménage, on constate une tendance positive manifeste. La meilleure courbe linéaire logarithmique a une valeur $R^2$ de 0,42. Toutefois, étant donné la relation apparente et indésirable entre le nombre de routes et les VKD, il y a un risque que les planificateurs urbains ne prévoient pas assez de rues pour réduire le plus possible les distances à pied et maintenir la connectivité. Par conséquent, nous n'avons pas incorporé cette variable dans la définition retenue du modèle.

Pour mesurer la « convivialité pour les piétons » des rues, nous avons examiné des variables indiquant la présence de grandes voies de communication (trois voies ou plus dans les deux sens). Les piétons et cyclistes sont beaucoup plus susceptibles d'utiliser une rue plus étroite où les véhicules circulent moins rapidement qu'une grande voie de communication où la circulation est rapide. Nous avons testé diverses formes de cette variable, y compris une variable binaire indiquant la présence de grandes voies de communication dans la zone de circulation. Une autre variable était le rapport entre la longueur totale des grandes voies de communication et la longueur totale des routes, à l'exclusion des routes express et des bretelles, dans la zone de circulation. Cette dernière variable s'est révélée un prédicteur statistiquement significatif des VKD en auto dans l'analyse à régression multivariée. Par conséquent, nous l'avons conservée dans le modèle final.

Les kilomètres de voie par ménage sont une autre mesure qui pourrait convenir; toutefois, l'information sur les kilomètres de voie n'était disponible qu'au niveau agrégé des municipalités locales de la RGT, où il peut y avoir beaucoup de variations des kilomètres de voie d'un quartier à l'autre de la même municipalité locale. En raison de ce manque de données au niveau des zones de quartier, la variable des kilomètres de voie n'a pas été incluse dans le modèle.

Pièce 12
Rapports entre les VKD en automobile et le nombre d'intersections/kilomètre de route




**Pistes cyclables**

La mesure dans laquelle le cyclisme est encouragé par l'aménagement de pistes cyclables dans le quartier devrait aussi réduire l'utilisation des automobiles.

La longueur totale des routes ayant des pistes cyclables ou des voies partagées désignées (« voies cyclables sur rue ») a été déterminée pour chaque zone de circulation dans la ville de Toronto. Très peu de données étaient disponibles pour les zones extérieures, surtout en raison de l'absence de pistes cyclables. Aux fins de la présente étude, nous avons supposé que toutes les zones à l'extérieur de Toronto avaient peu de pistes cyclables convenant aux déplacements non récréatifs.

Nous avons testé des variables relatives aux pistes cyclables, y compris des variables binaires indiquant s'il y avait des pistes ou des voies cyclables sur rue dans la zone de circulation, et le rapport entre les voies cyclables sur rue ou l'ensemble des pistes cyclables et la longueur totale des routes à l'intérieur de cette zone de circulation. Nous reconnaissons qu'il s'agit là de variables plutôt simplistes : une mesure plus exhaustive de la mesure dans laquelle le cyclisme est encouragé tiendrait également compte de la connectivité des pistes cyclables dans la zone de circulation avec d'autres pistes cyclables, ainsi que de la sécurité et de la qualité des pistes cyclables. Néanmoins, nous avons constaté que ces variables relatives aux pistes cyclables étaient des prédicteurs statistiquement significatifs de la propriété de véhicules et de l'utilisation des transports en commun dans l'analyse de régression multivariée.

***Caractéristiques de stationnement***

Hunt Analytics Inc. (1999) a découvert qu'une augmentation de 0,50 $ des coûts de stationnement aux destinations de travail, à Edmonton, a diminué les VKD en auto de 3,4 %. Toutefois, l'étude actuelle n'a pas explicitement incorporé une mesure de la disponibilité ni du coût du stationnement. L'envergure de notre étude ne permet pas de prévoir les caractéristiques d'emplacements ainsi que de conception de quartier (p. ex., la disponibilité du stationnement) en ce qui concerne les lieux de travail des membres des ménages et d'autres lieux d'activité. Notre étude insiste sur les variables explicatives situées seulement dans les quartiers de résidence des ménages et, à ce titre, l'effet de la disponibilité du stationnement à domicile est l'intérêt principal. Toutefois, les municipalités ne tiennent généralement pas un relevé de la disponibilité des terrains de stationnement résidentiel, et il faudrait beaucoup de temps pour assembler les données nécessaires, en raison de la diversité des types de stationnement disponibles.

***Autres caractéristiques de quartier***

De nombreux autres attributs de quartier (y compris les paysages de rue, le ralentissement de la circulation, ainsi que des installations pour piétons) ont été envisagés en vue d'une inclusion dans le modèle de régression. Pour certains d'entre eux, les efforts déployés afin de recueillir les données appropriées n'ont pas été couronnés de succès, ou une recherche préliminaire a suggéré que ces variables ne sont généralement pas significatives dans les régressions de l'usage d'une automobile, car elles sont largement surpassées par des facteurs comme l'emplacement.

On a découvert que les renseignements recueillis sur les initiatives prises pour ralentir la circulation dans la RGT ne sont pas nombreux. De plus, la plupart des initiatives en question déclarées pour le centre-ville de Toronto ont été mises en oeuvre après 1996, de sorte que les données du TTS de 1996 ne refléteraient pas les répercussions de ces changements.

L'inclusion d'une variable dénotant l'effet de la qualité des paysages de rue sur l'usage des autos ou du transport en commun est très souhaitable. Une approche testée pour notre étude consistait à inspecter les valeurs des VKD en auto, prédites au moyen du modèle final établi pour plusieurs zones de circulation, où les différences entre les paysages de rue étaient très évidentes. Par conséquent, on n'a détecté, dans les résultats du modèle, aucun biais systématique pouvant être corrigé par une variable relative aux paysages de rue. En fait, pour plusieurs de ces zones, si l'on tentait de corriger les valeurs prédites en introduisant cette variable, on donnerait lieu à un signe inattendu (contre-intuitif) pour son

coefficient. Par conséquent, aucune variable dénotant la qualité des paysages de rue n'a été appliquée au modèle. Cela ne signifie pas que les paysages de rue n'ont aucun effet sur le comportement des ménages en matière de déplacement, mais seulement que l'ensemble de données ne semble pas suffisamment sensible aux changements dans cette variable pour être statistiquement significatif dans les spécifications du modèle final.

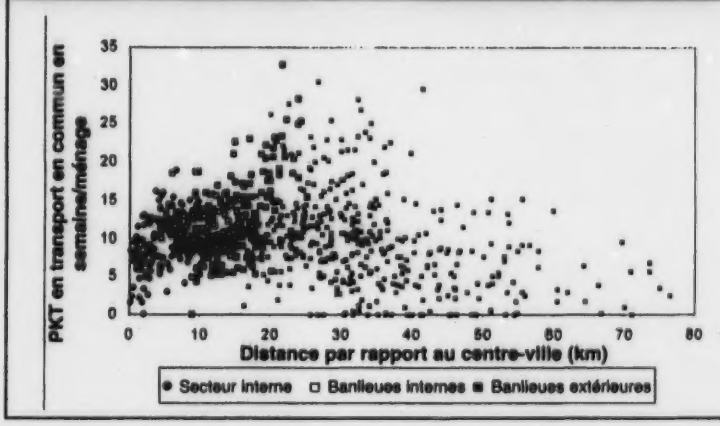
**Variables ayant des répercussions sur l'usage du transport en commun**

On a également analysé les variables individuelles ayant des répercussions sur les PKD en transport en commun. Les analyses à régression univariée, où les PKD en transport en commun par ménage constituent la variable dépendante, ont montré qu'aucune des variables ne s'approche de la force des variables clés dans les analyses univariées portant sur la propriété d'une auto ou les VKD en auto, où les valeurs $R^2$ pourraient atteindre 0,70. En ce qui concerne les PKD en transport en commun, l'analyse univariée suggère que les plus fortes variables explicatives sont celles qui ont trait à la taille du ménage (p. ex., le nombre de personnes par ménage ou son logarithme naturel, avec des valeurs $R^2$ de 0,11). La proximité par rapport aux gares de transport rapide ou GO Transit semble également faire partie des variables les plus prometteuses.

Le carré de la distance par rapport au centre-ville a également fait l'objet d'un test. La meilleure façon d'expliquer cette démarche consiste à recourir à la pièce 13, qui illustre l'évolution des PKD en transport en commun en fonction de la distance par rapport au centre-ville. On peut voir que, grosso modo, sur une distance de 25 kilomètres du centre-ville, il y a une tendance à augmenter les PKD en transport en commun, à mesure qu'augmente la distance par rapport au centre-ville. Cela peut-être expliqué par le fait que les passagers du transport en commun doivent en moyenne voyager sur de plus longues distances. Toutefois, plus loin du centre-ville, les PKD en transport en commun diminuent à mesure qu'augmente la distance par rapport au centre-ville, en raison de la plus faible proportion des déplacements effectués globalement par le transport en commun. Bien que ceux-ci puissent s'allonger, ils sont moins nombreux, de sorte que le total des PKD diminue. La ligne linéaire la plus ajustée montre une légère diminution des PKD en transport en commun à mesure qu'augmente la distance par rapport au centre-ville, mais a une valeur $R^2$ de seulement 0,034; une ligne quadratique (ayant à la fois un terme linéaire et un quadratique) est beaucoup plus ajustée, avec une valeur $R^2$ de 0,107. Une ligne quadratique pourrait être « linéarisée » pour être utilisée dans l'équation à régression multivariée, par l'inclusion de deux termes, le premier désignant la distance par rapport au centre-ville (dont le coefficient devrait être positif), et l'autre désignant le carré de cette distance (dont le coefficient devrait être négatif).

Un autre terme examiné était la distance par rapport au centre-ville, lorsqu'une gare de transport rapide était située à moins d'un kilomètre du centre de gravité du nœud. Lorsque cette gare était à plus d'un kilomètre, la valeur

Pièce 13
Rapports entre les PKD en transport en commun en semaine et la distance par rapport au centre-ville



de cette variable était fixée à 0. Cette variable combinée reflète à la fois la propension accrue d'un ménage à utiliser le transport en commun parce qu'un transport rapide est très accessible, et la distance que les membres du ménage seraient disposés à parcourir. De la même façon, une troisième variable additionnelle testée était la distance par rapport au centre-ville lorsqu'une gare de transport rapide était située à deux kilomètres du centre de gravité du nœud. En utilisant une valeur seuil de deux kilomètres pour la variable relative au train de banlieue, on a obtenu une variable plus forte que l'utilisation d'une distance d'un kilomètre; par conséquent, il semble raisonnable que les gens pourraient voyager un peu plus loin pour atteindre une gare GO Transit que pour une gare de transport rapide, à cause de la plus grande économie de temps réalisée sur le déplacement global.

# 4. ÉLABORATION DE MODÈLE

## Méthodologie

L'approche adoptée pour notre étude se base sur la régression multivariée qui, essentiellement, permet d'examiner comment une seule variable dépendante (p. ex., les VKD par ménage) est affectée par les valeurs d'une ou de plusieurs variable(s) indépendante(s). La forme de base du modèle est la suivante

$$Y = a + b1X1 + b2X2 + ...+ bnXn$$

où $Y$ = variable dépendante

$X$ = variable indépendante

$a$ = terme constant

$b$ = terme coefficient.

En effet, les contributions des différentes variables explicatives à la variable dépendante deviennent cumulatives. Les coefficients attribués aux variables individuelles dans le modèle le plus ajusté indiquent dans quelle mesure les variables influeraient sur la variable dépendante si cette dernière pouvait être isolée, c'est-à-dire, si les autres variables indépendantes demeuraient constantes.

Le modèle est évalué au moyen de la méthode des moindres carrés, et peut être considéré comme l'ajustement d'une ligne droite à travers un ensemble d'observations. Cela signifie que les variables indépendantes sont « linéaires dans les paramètres ». Les variables explicatives peuvent être « linéarisées » au moyen de diverses transformations comme les formes logarithmiques, indiquées dans les équations du modèle. Certaines des variables explicatives ont été incluses sous une forme dite « variables binaires ». Elles n'ont que deux valeurs possibles : 0 si l'état indiqué (p. ex., s'il y a une gare de transport rapide dans un rayon d'un kilomètre) est faux, ou 1 s'il est vrai. Les analyses univariées du chapitre 3 donnent une indication des formes fonctionnelles appropriées pour bon nombre des variables (p. ex., binaires, logarythmiques, etc.).

Une analyse à régression simultanée a été employée pour élaborer les spécifications finales de la propriété d'une automobile et les modèles relatifs aux VKD en auto. Par conséquent, ces modèles utilisent des valeurs prédites pour la propriété d'une auto. L'approche à régression simultanée optimise l'ajustement du modèle, simultanément pour les deux variables dépendantes (la propriété d'une auto et les VKD en auto).

Les spécifications finales du modèle des PKD en transport en commun utilisaient également des valeurs prédites de propriété d'une auto, mais ce modèle a été calibré séparément des deux premiers. C'est parce que les valeurs $R^2$ pour les VKD en auto et les modèles de propriété d'une auto sont très bonnes à 0,84 et à 0,88, respectivement, tandis que la valeur $R^2$ pour le modèle de transport en commun n'est que modérée, à 0,33.

En général, les critères et considérations suivants ont servi à évaluer les modèles d'essai, ainsi que la pertinence de l'inclusion de diverses variables explicatives.

- Les valeurs $R^2$ sont une mesure statistique de l'ajustement global d'un modèle et, à ce titre, le meilleur modèle aurait une valeur $R^2$ de près de 1 ou -1.

- Le signe du coefficient applicable à la variable explicative ne doit pas être contre-intuitif.

- La statistique t est une mesure de la signification des estimations du paramètre. Le test t, comme on l'appelle, mesure le niveau de confiance à l'égard du fait que la valeur véritable du coefficient de la variable serait non nulle, ce qui valide l'hypothèse selon laquelle la variable indépendante

associée aurait une relation statistique avec cette variable dépendante. Les valeurs absolues supérieures à 1,65 montrent que le coefficient est *statistiquement significatif* au niveau de confiance de 95 % pour cet ensemble de données.

- Une variable explicative peut être considérée comme *robuste* si l'envergure de son coefficient demeure grosso modo constante même si l'on modifie la spécification du modèle. Si la valeur du coefficient varie largement, cela peut indiquer qu'il existe une forte corrélation entre elle et une autre variable du modèle.

- Un modèle basé sur une régression simultanée est bon si les spécifications relatives aux sous-modèles qui en font partie ne diffèrent pas sensiblement de celles des mêmes modèles utilisant des analyses simples à régression multivariée. Un grand changement dans les paramètres du modèle, au moment de la régression simultanée, peut suggérer qu'une variable dans un sous-modèle pourrait compenser l'absence d'une variable dans un autre sous-modèle.

## Résultats des analyses à régression multivariée

### Sous-modèle de propriété d'auto

La pièce 14 montre les résultats de plusieurs essais de fonctionnement au moyen d'une analyse simple à régression multivariée. Ce n'est qu'un exemple des nombreuses formulations potentielles de modèle testées, tant individuellement que simultanément, en ce qui concerne le modèle des VKD en auto. En général, ici et pour les autres sous-modèles, nous avons testé d'abord les modèles les plus simples, avant d'en accroître la complexité en ajoutant plus de variables.

Plusieurs variables significatives dans le modèle des véhicules par ménage ne le sont pas dans le modèle des VKD en auto, comme nous l'exposons ci-dessous. Bien que les variables relatives au modèle de propriété d'une auto influent indirectement sur les VKD en auto, leurs répercussions sont « diluées » et leur effet n'est pas aussi prononcé que si elles étaient incorporées directement au modèle des VKD en auto.

L'exposé ci-après décrit certains résultats de l'analyse à régression multivariée, y compris la présence ou l'absence de chaque variable explicative dans le modèle final et la raison justifiant cette décision.

- La variable correspondant au **nombre moyen d'adultes par ménage** a été sélectionnée pour le modèle final. Elle est robuste, statistiquement significative et le signe est logique (+). Son utilisation plutôt que celle du nombre de personnes par ménage tend à donner lieu à un modèle global légèrement plus ajusté.

- Étant donné que la variable relative au **revenu d'emploi d'un ménage** (la forme de logarithme naturel plutôt que la forme linéaire) était statistiquement significative et satisfaisait aux autres critères, elle a été sélectionnée pour la spécification du modèle final.

- Deux variables décrivant la **densité d'habitation** ont été testées, la première tenant compte du logarithme naturel de la densité d'habitation uniquement dans le quartier, et la seconde étant le logarithme naturel du nombre d'unités d'habitation situées dans un rayon d'un kilomètre du centre de gravité du nœud. Cette dernière fournit une mesure plus normalisée qui, sur le plan conceptuel, a les mêmes répercussions, quelle que soit la taille du quartier évalué, et s'ajuste également mieux aux essais relatifs au modèle. Elle était robuste, statistiquement significative et le signe était tel que prévu, de sorte qu'elle a été sélectionnée pour le modèle final.

- La **distance par rapport au centre-ville** était statistiquement significative et a été sélectionnée pour le modèle final. Lorsque cette variable n'était pas incluse, on

## Pièce 14

## Propriété d'un véhicule par ménage : Passages d'essai de modèle au moyen d'une analyse simple à régression multivariée

| Variable | Signe prévu | Toutes les variables | Passage d'essai du modèle | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20* |
| Constante | | -2,03 | 0,939 | 0,375 | 0,433 | 0,479 | 0,313 | 0,325 | 0,447 | 0,341 | 0,269 | 0,364 | 0,371 | 0,374 | 0,772 | 0,507 | 0,364 | -2,53 | -2,52 | -2,53 | -2,54 | -2,46 |
| | | (-8,98) | (10,2) | (3,70) | (5,19) | (5,58) | (3,39) | (3,41) | (3,44) | (3,40) | (3,12) | (4,02) | (3,78) | (3,58) | (9,73) | (5,59) | (3,66) | (-9,98) | (-9,94) | (-9,96) | (-9,97) | (-9,79) |
| Dist. par rapp. au centre-ville (km) | + | 0,00369 | 0,0087 | 0,0122 | 0,0116 | 0,00605 | 0,00574 | 0,00594 | 0,00468 | 0,00368 | 0,00804 | 0,00748 | 0,00565 | 0,00506 | | 0,00642 | 0,00569 | 0,00521 | 0,00519 | 0,00528 | 0,00520 | 0,00465 |
| | | (2,86) | (8,67) | (12,64) | (15,2) | (7,06) | (6,86) | (6,56) | (4,23) | (6,74) | (7,19) | (8,02) | (9,62) | (6,56) | | (6,3) | (6,66) | (6,25) | (6,21) | (6,31) | (6,22) | (5,43) |
| Ln (logements ds r d'un km) | - | -0,0588 | -0,107 | -0,0837 | -0,0626 | -0,055 | -0,0515 | -0,0483 | -0,0442 | -0,0513 | -0,0501 | -0,581 | -0,0544 | -0,0548 | -0,0799 | -0,0568 | -0,0588 | -0,0589 | -0,0570 | -0,0568 | -0,0570 | -0,0588 |
| | | (-4,98) | (-12,9) | (-10,3) | (-9,45) | (-10,5) | (-8,05) | (-5,51) | (-5,47) | (-8,02) | (-7,88) | (-8,80) | (-8,08) | (-7,14) | (-14,1) | (-8,44) | (-7,78) | (-8,59) | (-8,98) | (-8,53) | (-8,59) | (-8,86) |
| Adultes/ménage | + | 0,4468 | | 0,681 | 0,582 | 0,513 | 0,473 | 0,473 | 0,478 | 0,473 | 0,472 | 0,483 | 0,458 | 0,455 | 0,443 | 0,472 | 0,456 | 0,447 | 0,446 | 0,448 | 0,445 | 0,44 |
| | | (16,9) | | (24,0) | (24,7) | (23,9) | (20,8) | (20,6) | (20,7) | (20,6) | (20,7) | (19,8) | (19,0) | (19,0) | (18,1) | (20,2) | (19,1) | (19,1) | (19,0) | (19,1) | (18,9) | (18,7) |
| Rev. d'emploi du ménage (milliers $) | + | | | | 0,00785 | 0,00648 | 0,0049 | 0,00485 | 0,00486 | 0,00481 | 0,00472 | 0,0048 | 0,00491 | 0,00491 | 0,00462 | 0,00574 | 0,00486 | | | | | |
| | | | | | (20,6) | (17,4) | (10,8) | (10,7) | (10,7) | (10,6) | (10,5) | (10,4) | (10,5) | (10,5) | (9,7) | (14,3) | (10,3) | | | | | |
| Ln (rev. d'emploi du ménage) | + | ,38 | | | | | | | | | | | | | | | | 0,3019 | 0,302 | 0,300 | 0,303 | 0,301 |
| | | (11,2) | | | | | | | | | | | | | | | | (12,1) | (12,1) | (12,0) | (12,1) | (12,1) |
| Heures de service en sem. des autobus (r d'un km) | - | -0,00263 | | | | -0,00581 | -0,00611 | -0,00568 | -0,00511 | -0,00517 | -0,00405 | -0,00354 | -0,00409 | -0,00408 | -0,00613 | -0,00446 | -0,00412 | -0,00388 | -0,00388 | -0,00390 | -0,00390 | -0,00388 |
| | | (-3,69) | | | | (-11,6) | (-8,87) | (-8,75) | (-8,89) | (-8,87) | (-8,36) | (-5,5) | (-6,42) | (-6,41) | (-10,7) | (-7,1) | (-6,47) | (-6,22) | (-6,22) | (-6,24) | (-6,23) | (-6,39) |
| Comb. de types de log. | - | -0,116 | | | | | -0,11 | -0,111 | -0,107 | -0,108 | -0,108 | -0,118 | -0,109 | -0,109 | -0,121 | -0,0779 | -0,107 | -0,117 | -0,118 | -0,113 | -0,117 | -0,121 |
| | | (-3,91) | | | | | (-3,85) | (-3,7) | (-3,52) | (-3,55) | (-3,54) | (-3,94) | (-3,62) | (-3,62) | (-3,94) | (-2,34) | (-3,54) | (-3,98) | (-4,00) | (-3,80) | (-4,03) | (-4,12) |
| Pièces/logement | + | 0,0329 | | | | | 0,0442 | 0,0436 | 0,044 | 0,0443 | 0,0486 | 0,0425 | 0,0426 | 0,0426 | 0,0422 | | 0,0437 | 0,0343 | 0,0338 | 0,0356 | 0,034 | 0,0329 |
| | | (3,52) | | | | | (4,78) | (4,68) | (4,78) | (4,80) | (4,94) | (4,58) | (4,57) | (4,56) | (4,40) | | (4,67) | (3,72) | (3,64) | (3,82) | (3,68) | (3,56) |
| N= de magasins ds un r d'un km | - | (-) | | | | | | | | | -0,00422 | -0,00389 | -0,0033 | -0,0033 | -0,0016 | -0,00264 | -0,00389 | -0,00231 | -0,00233 | -0,00230 | -0,00213 | -0,00232 |
| | | (-2,13) | | | | | | | | | (-2,81) | (-2,58) | (-2,14) | (-2,13) | (-1,02) | (-1,71) | (-2,3) | (-1,51) | (-1,53) | (-1,51) | (-1,36) | (-1,53) |
| Gare de transp. rap. (TR) ds un r d'un km (binaire) | - | -0,0307 | | | | | | | | | | -0,0368 | -0,0312 | -0,0312 | -0,0494 | -0,0397 | -0,0299 | -0,0512 | -0,0510 | -0,0508 | -0,0494 | -0,0539 |
| | | (-1,34) | | | | | | | | | | (-1,84) | (-1,38) | (-1,37) | (-2,12) | (-1,74) | (-1,31) | (-2,26) | (-2,25) | (-2,23) | (-2,14) | (-2,35) |
| Dist. par rapp. à une gare de TR ou GO (km) | + | -0,00874 | | | | | | | | | | -0,00681 | | | | | | | | | | |
| | | (-4,63) | | | | | | | | | | (-4,08) | | | | | | | | | | |
| Disp. curviligne des rues | + | 0,0335 | | | | | | | | | | | 0,0291 | 0,0287 | 0,0422 | 0,0362 | 0,0292 | 0,25 | 0,0256 | 0,0246 | 0,0251 | 0,0255 |
| | | (1,99) | | | | | | | | | | | (1,80) | (1,66) | (2,57) | (2,16) | (1,81) | (-1,58) | (1,61) | (1,56) | (1,58) | (1,60) |
| Disp. de grille rurale | + | 0,0300 | | | | | | | | | | | | -0,00166 | | | | | | | | |
| | | (1,15) | | | | | | | | | | | | (-0,08) | | | | | | | | |
| % de maisons ind. isolées | + | 0,00237 | | | | | | | | | | | | | | 0,128 | | | | | | |
| | | (2,59) | | | | | | | | | | | | | | (3,42) | | | | | | |
| Intersections/km de route | - | 0,0163 | | | | | | | | | | | | | | | 0,01003 | | | | | |
| | | (2,1) | | | | | | | | | | | | | | | (1,41) | | | | | |
| Km de route/ménage | + | -2,42E-04 | | | | | | | | | | | | | | | 0,0000258 | | | | | |
| | | (-1,46) | | | | | | | | | | | | | | | (0,52) | | | | | |
| Personnes/ménage | + | | 0,408 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | (22,4) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ln (emplois ds r d'un km) | - | -0,016 | | | | | | -0,00405 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | (-1,72) | | | | | | (-0,52) | | | | | | | | | | | | | | |
| Ln (emplois ds r de 5 km) | - | -0,0223 | | | | | | | -0,0154 | | | | | | | | | | | | | |
| | | (-1,76) | | | | | | | (-1,47) | | | | | | | | | | | | | |
| Combinaison d'utilis. des terrains | - | 0,0317 | | | | | | | | -0,0322 | | | | | | | | | | | | |
| | | (0,69) | | | | | | | | (-0,72) | | | | | | | | | | | | |
| Gr. Voies de comm. à 3 voies — binaire | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | -0,00748 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | (-0,369) | | | |
| Rapp. long. des gr. voies de comm à 3 voies — long. d'autres routes | + | 0,185 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,129 | | |
| | | (1,40) | | | | | | | | | | | | | | | | | | (-1,033) | | |
| Rapp. long. des pistes cyclables sur rue — long. tot. des routes | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -0,0983 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | (-0,49) | |
| Rapp. long. des pistes cyclables sur rue — long. tot. des routes | - | -0,140 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -0,549 |
| | | (-1,54) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | (-0,91) |
| $R^2$ | | 0,884 | 0,748 | 0,754 | 0,849 | 0,863 | 0,878 | 0,878 | 0,871 | 0,878 | 0,871 | 0,878 | 0,872 | 0,872 | 0,866 | 0,871 | 0,872 | 0,877 | 0,877 | 0,877 | 0,877 | 0,878 |

**Notes:**

0,000 coefficient de variable

(0,000) statistique t

Ln = logarithme naturel de la variable

* Les variables indiquées dans la colonne ombrée sont celles qui ont été utilisées dans le modèle final.

compensait le plus souvent avec des variables dénotant la densité d'habitation de quartier et les heures de service des autobus, car ces variables sont corrélées avec la distance par rapport au centre-ville.

- Les **heures de service des autobus** sont intuitivement un facteur important dans les décisions prises dans un ménage au sujet de la propriété d'un véhicule, étant donné qu'une solution de rechange attrayante à la propriété et à l'usage d'une automobile fournit à un ménage de véritables options en matière de déplacement. La variable était robuste, statistiquement significative et le signe était tel que prévu. Par conséquent, elle a été sélectionnée pour le modèle final. Le coefficient de la variable représentant la distance par rapport au centre-ville est réduit de moitié quand on introduit dans le mode la variable dénotant les heures de service des autobus. La forte interrelation entre ces deux variables est très manifeste.

- La **distance par rapport à une gare de transport rapide ou à une gare GO Transit** a été testée sous forme de variable explicative selon différentes formes. Une variable représentant la distance réelle par rapport au transport en commun avait une statistique t raisonnable lors de certains passages, mais ne comprenait pas un signe acceptable lorsqu'elle était utilisée en combinaison avec d'autres variables clés. Une variable binaire dénotant la présence éventuelle d'une gare de transport rapide dans un rayon d'un kilomètre était la seule variable qui conservait uniformément le signe prévu du coefficient, de sorte qu'elle a été sélectionnée pour la spécification du modèle final.

- Les variables décrivant la **typologie des logements** ont tendance à améliorer l'ajustement du modèle. Les valeurs du coefficient montrent qu'une grande diversité dans la composition des types de logements peut réduire la propriété d'une auto, de sorte que ce fait a été spécifié dans le modèle. La variable dénotant la taille moyenne des unités de logement d'un quartier, en pièces par unité, était également robuste et statistiquement significative. Le pourcentage de maisons seules dans une zone était également robuste pour plusieurs essais de modèles, mais tendait à réduire la signification statistique des autres variables lorsqu'il était inclus, peut-être en raison d'une plus forte corrélation avec ces autres variables. Nous avons favorisé le nombre de pièces par ménage, par rapport à cette autre variable, dans le modèle final, car il en a résulté un ajustement global légèrement meilleur du modèle, et aussi parce que les conséquences des résultats du modèle sur les politiques semblaient plus claires.

- Les variables dénotant la **proximité du lieu de travail** et des services [lieux de travail situés dans un rayon d'un ou de cinq kilomètre(s)] ont été testées dans différents passages, mais avaient tendance à ne pas être statistiquement significatives dans le sous-modèle de la propriété d'une auto. Toutefois, les deux variables ont été retenues pour le modèle final en raison des bons résultats obtenus dans les sous-modèles des VKD en auto et des PKD en transport en commun.

- La **combinaison d'utilisations des terrains** (l'équilibre entre les logements et les emplois) n'était pas statistiquement significative dans ce sous-modèle, bien qu'on l'ait conservée dans le modèle des VKD en auto.

- La **proximité par rapport aux magasins** a été conservée pour le modèle final, car elle est statistiquement significative et correspond aux autres critères.

- La seule variable binaire à dénoter différents **types de disposition de routes**, qui était statistiquement significative et a produit le signe prévu du coefficient, était une variable dénotant un type de route curviligne, qui comprenait à la fois des rues curvilignes aléatoires et régulières. Le modèle final de propriété d'auto comprenait une variable binaire dénotant un type de route curviligne avec un signe de coefficient positif.

- Les variables **kilomètres de route par ménage et intersections par kilomètre** de route n'étaient pas statistiquement significatives dans les passages d'essai du sous-modèle de la propriété d'auto, bien que les intersections par kilomètre de route l'aient été dans le sous-modèle des VKD en auto. Par conséquent, seules les intersections par kilomètre de route ont été retenues dans la spécification du modèle final.

- Les variables indiquant la présence de **grandes voies de communication** ou leur étendue n'étaient pas statistiquement significatives dans les passages d'essai et n'ont donc pas été retenues dans le modèle final de propriété d'auto, mais elles ont été incluses dans le modèle des VKD en auto.

- La variable indiquant le rapport entre la longueur des **pistes cyclables** et la longueur totale des routes dans la zone de circulation était statistiquement significative et a été conservée dans le modèle final.

Les plus hautes valeurs $R^2$ obtenues pour un sous-modèle rationnel de propriété d'auto (c'est-à-dire, un modèle où les variables explicatives employées étaient statistiquement significatives et présentaient le signe de coefficient attendu), par l'usage d'une régression simple multivariée, étaient de 0,88 dans le passage d'essai 20. Il s'agit d'un excellent résultat, compte tenu des nombreux facteurs intervenant dans les décisions relatives à la propriété d'une auto.

**Sous-modèle des VKD en auto**

En utilisant une analyse à régression univariée, on constate que bon nombre des variables présentent un excellent potentiel de prédiction relative aux VKD en auto par ménage. La plus forte d'entre elles est la distance par rapport au centre-ville, avec une valeur $R^2$ de 0,72, suivie par le logarithme naturel du nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres ($R^2$ de 0,69), puis par la propriété d'une auto ($R^2$ de 0,67). Il est extrêmement important de reconnaître qu'il y a une très forte covariance entre certaines de ces variables, ce qui peut conférer un grand pouvoir explicatif d'une variable à une autre qui lui est corrélée. On peut isoler les effets des variables individuelles au moyen d'une régression multivariée.

La pièce 15 montre les résultats de certaines des nombreuses analyses simples à régression multivariée, où la variable dépendante était le nombre de VKD en auto en semaine. Voici une liste de certaines des observations effectuées sur le rendement de ces variables dans l'analyse à régression.

- La **propriété d'une auto par ménage** avait des valeurs de coefficient de l'ordre de 20 à 25. La variable était statistiquement significative et le signe était tel que prévu. Par conséquent, elle a été conservée pour le modèle final.

- Les variables dénotant la **taille du ménage** étaient statistiquement significatives et conformes à l'autre critère, de sorte qu'elles ont été conservées pour le modèle final. Il ne semblait pas y avoir d'importante différence de force entre l'expression linéaire de la taille d'un ménage et son logarithme naturel. À la fin, nous avons choisi la forme du logarithme naturel de cette variable car elle s'ajustait un peu mieux à l'analyse univariée, et elle est également intuitive, en ce sens qu'elle donne lieu à certaines économies d'échelle pour les besoins en voyages dans les plus gros ménages, comme le sous-entend le logarithme naturel.

- Le **revenu individuel de travailleur** (exprimé ici en milliers de dollars) semblait être une variable plus robuste et plus statistiquement significative que le revenu du ménage. Il a été conservé dans le modèle final.

- La variable « **distance par rapport au centre-ville** » était statistiquement significative et a été incluse dans le modèle final. Quand elle était absente des passages d'essai, le coefficient de la variable dénotant l'accessibilité à un emploi dans un rayon de cinq kilomètres augmentait en force.

## Piece 15

## VKD en auto par menage Passages d'essai de modele au moyen d'une analyse simple à regression multivariee

| Variable | Signe prévu | Toutes les variables | Passages d'essai du modèle | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22* |
| Constante | | 44,0<br>(3,76) | -13,6<br>(-0,76) | 26,5<br>(6,14) | 60,6<br>(6,97) | 58,7<br>(-6,75) | 58,7<br>(6,77) | 45,2<br>(4,82) | 40,7<br>(4,31) | 26,5<br>(2,71) | 29,6<br>(3,07) | 29,7<br>(3,11) | 29,6<br>(3,09) | 20,12<br>(2,01) | 32,1<br>(3,35) | 32,42<br>(3,33) | 29,3<br>(2,97) | 34,2<br>(3,56) | 77,5<br>(9,55) | 77,0<br>(9,18) | 33,0<br>(3,46) | 32,7<br>(3,34) | 32,0<br>(3,28) | 30,30<br>(3,31) |
| Dist. par rapp. au centre-ville (km) | + | 0,0819<br>(0,479) | 1,12<br>(23,6) | 0,65<br>(8,63) | 0,656<br>(8,77) | 0,662<br>(8,75) | 0,666<br>(8,38) | 0,618<br>(8,14) | 0,647<br>(8,49) | 0,650<br>(8,53) | 0,628<br>(8,33) | 0,629<br>(8,46) | 0,634<br>(8,51) | 0,733<br>(9,10) | 0,566<br>(7,90) | 0,625<br>(8,38) | 0,643<br>(8,57) | 0,636<br>(8,67) | | | 0,629<br>(8,47) | 0,618<br>(8,09) | 0,625<br>(8,36) | 0,634<br>(8,39) |
| Véhicules/ménage (observée) | + | 25,8<br>(11,3) | 27,2<br>(19,21) | 25,5<br>(18,5) | 25,7<br>(18,6) | 24,6<br>(9,06) | 21,8<br>(12,0) | 23,4<br>(12,6) | 20,5<br>(9,75) | 22,1<br>(10,5) | 21,5<br>(10,3) | 21,4<br>(10,9) | 21,9<br>(11,1) | 24,0<br>(11,5) | 22,9<br>(11,5) | 21,4<br>(10,8) | 21,3<br>(10,7) | 24,7<br>(11,6) | 26,2<br>(13,2) | 28,5<br>(12,7) | 21,6<br>(10,9) | 21,4<br>(10,7) | 21,4<br>(10,7) | 21,2<br>(10,62) |
| Ln (emplois de *r* de 5 km) | - | -4,93<br>(-5,52) | | -4,94<br>(-7,88) | -4,77<br>(-7,67) | -3,49<br>(4,37) | -3,99<br>(-4,61) | -2,99<br>(-3,66) | -3,14<br>(-3,85) | -3,20<br>(-3,94) | -3,38<br>(-4,19) | -3,33<br>(-4,78) | -3,19<br>(-4,62) | -3,22<br>(-4,68) | -4,8<br>(-5,3) | -3,13<br>(-4,52) | -2,88<br>(-4,11) | -3,64<br>(-5,15) | -6,80<br>(-12,3) | 7,41<br>(-11,2) | -3,33<br>(-4,81) | -3,13<br>(-4,52) | -3,18<br>(-4,58) | -5,30<br>(-4,67) |
| Combinaison d'utilis. des terrains | - | -9,38<br>(-2,84) | | | -12,5<br>(-3,67) | -12,2<br>(-3,87) | -12,1<br>(-3,87) | -10,9<br>(-3,47) | -10,8<br>(-3,46) | -9,53<br>(-3,08) | -9,41<br>(-3,04) | -9,42<br>(-3,08) | -9,81<br>(-3,16) | -8,03<br>(-2,68) | -10,7<br>(-3,44) | -9,83<br>(-3,16) | -10,2<br>(-3,30) | -9,26<br>(-3,01) | -8,87<br>(-2,74) | -9,11<br>(-2,83) | -10,06<br>(-3,26) | -9,81<br>(-3,16) | -9,51<br>(-3,06) | -8,66<br>(-2,69) |
| Ln (logements de *r* d'un km) | - | 0,163<br>(-0,19) | | | | -1,47<br>(-2,53) | -1,71<br>(-2,91) | -1,35<br>(-2,29) | -1,39<br>(-2,29) | 0,131<br>(0,197) | 0,0904<br>(0,014) | | | | | | | 1,28<br>(2,64) | | 1,4<br>(1,99) | | | | |
| Personnes/ménage | + | | | | | | 3,02<br>(2,53) | 2,63<br>(2,21) | 4,33<br>(3,29) | 4,36<br>(3,35) | 4,17<br>(3,21) | 4,20<br>(3,27) | | | | | | | | | | | | |
| Ln (pers./ménage) | + | 16,8<br>(3,67) | | | | | | | | | | | 9,81<br>(2,93) | 10,2<br>(3,06) | 10,9<br>(3,24) | 9,62<br>(2,88) | 10,1<br>(3,02) | 12,8<br>(3,69) | 10,1<br>(2,9) | 8,73<br>(2,47) | 11,2<br>(3,33) | 9,62<br>(2,87) | 10,0<br>(2,97) | 10,4<br>(3,07) |
| Dist. par rapp. à une gare TR ou GO Transit (km) | + | 0,748<br>(4,08) | | | | | | 0,564<br>(3,62) | 0,569<br>(3,61) | 0,531<br>(3,46) | 0,512<br>(3,33) | 0,51<br>(3,38) | 0,516<br>(3,39) | 0,43<br>(2,79) | 0,566<br>(3,70) | 0,528<br>(3,46) | 0,515<br>(3,38) | 0,515<br>(3,40) | 0,72<br>(4,58) | 0,782<br>(4,84) | 4,94<br>(3,25) | 0,536<br>(3,48) | 0,522<br>(3,42) | 0,504<br>(3,44) |
| Revenu d'emploi (milliers $) | + | 0,171<br>(2,92) | | | | | | | 0,148<br>(2,98) | 0,138<br>(2,67) | 0,132<br>(2,72) | 0,133<br>(2,72) | 0,128<br>(2,6) | 0,15<br>(3,06) | 0,127<br>(2,58) | 0,136<br>(2,76) | 0,142<br>(2,88) | 0,204<br>(3,89) | 0,0707<br>(1,39) | 0,0857<br>(1,68) | 0,126<br>(2,56) | 0,136<br>(2,76) | 0,138<br>(2,79) | 0,139<br>(2,81) |
| Disp. de grille rurale | + | 3,51<br>(1,88) | | | | | | | | 6,08<br>(3,80) | 7,18<br>(4,54) | 7,08<br>(5,10) | 7,22<br>(5,19) | 6,66<br>(4,92) | 6,25<br>(5,74) | 5,97<br>(3,73) | 6,07<br>(3,79) | 7,10<br>(5,12) | 6,97<br>(4,79) | 6,44<br>(3,63) | 5,71<br>(3,56) | 6,01<br>(3,75) | 6,12<br>(3,86) | 5,91<br>(3,69) |
| Disp. curviligne de rues | + | -1,62<br>(-1,34) | | | | | | | | -2,18<br>(-1,84) | | | | | | | | | | | | | | |
| Heures de service en sem. des autobus (r d'un km) | - | 0,056<br>(1,21) | | | | | | | | | | | | 0,12<br>(3,14) | | | | | | | | | | |
| Ln (emplois de *r* d'un km) | - | 1,19<br>(1,80) | | | | | | | | | | | | | 1,67<br>(2,73) | | | | | | | | | |
| Intersections par km de route | - | -2,00<br>(-3,55) | | | | | | | | | | | | | | -0,812<br>(-1,58) | -0,88<br>(-1,67) | | | -1,38<br>(-2,51) | -0,812<br>(-1,58) | -0,797<br>(-1,54) | -0,756<br>(-1,45) | -0,789<br>(-1,48) |
| Km de route/ménage | + | 0,00165<br>(0,137) | | | | | | | | | | | | | | | 0,00709<br>(1,98) | | | | | | | |
| % de maisons ind. isolées | + | -0,068<br>(-1,04) | | | | | | | | | | | | | | | | -5,77<br>(-1,98) | | | | | | |
| Pièces/logement | + | -1,27<br>(-1,91) | | | | | | | | | | | | | | | | -1,02<br>(-1,31) | | | | | | |
| Rapp. long. des pistes cyclables sur rue — long. tot. des routes | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 41,34<br>(3,00) | | | |
| Pistes cyclables — binaire | - | 0,110<br>(0,088) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | -0,518<br>(-0,437) | | |
| Gr. Voies de comm. à 3 voies — binaire | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,186<br>(0,872) | |
| Rapp. long. des gr. voies de comm à 3 voies — long. d'autres routes | + | 8,72<br>(0,914) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12,86<br>(1,31) |
| $R^2$ | | 0,844 | 0,989 | 0,822 | 0,825 | 0,837 | 0,836 | 0,831 | 0,833 | 0,838 | 0,837 | 0,837 | 0,837 | 0,838 | 0,836 | 0,837 | 0,838 | 0,839 | 0,822 | 0,824 | 0,838 | 0,838 | 0,837 | 0,838 |

Notes:
0,000 coefficient de variable
(0,000) statistique t
Ln = logarithme naturel de la variable

* Les variables indiquées dans la colonne ombrée sont celles qui ont été utilisées dans le modèle final.

La relation entre ces deux variables est examinée dans le point suivant. Le coefficient de la variable de la distance par rapport à la gare de transport rapide ou à la gare GO Transit est également devenu plus fort.

- Le logarithme naturel du **nombre d'emplois** situés dans un rayon de cinq kilomètres du centre de gravité du nœud était la seule variable ayant causé une baisse significative du coefficient de la variable « distance par rapport au centre-ville », réduisant sa valeur de près de la moitié[6]. La variable du nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres tendait à présenter une statistique t et un coefficient supérieurs à ceux d'une variable dénotant la distance par rapport au nœud d'emploi le plus proche, et elle a aussi été préférée pour les raisons exposées au chapitre 3. Elle a été retenue pour le modèle final.

- Une autre mesure de la **proximité par rapport à l'emploi**, c'est-à-dire le nombre d'emplois dans un rayon d'un kilomètre, avait tendance à entraîner un signe imprévu du coefficient et n'a donc pas été incluse dans le sous-modèle des VKD en auto. La mesure était significative dans le sous-modèle des PKD en transport en commun.

- La **composition de l'utilisation des terrains** était statistiquement significative et robuste, et les signes étaient tels que prévus, de sorte qu'elle a été conservée pour le modèle final.

- La variable « **kilomètres de route par ménage** » était statistiquement significative et avait le signe prévu pour le coefficient, mais, en raison de conséquences négatives sur les politiques (c'est-à-dire, qu'elle compromettait la connectivité des rues en réduisant la longueur totale de la chaussée), elle n'a pas été incluse dans le modèle final.

- La variable « **intersections par kilomètre de route** » était statistiquement significative et présentait le signe prévu du coefficient (négatif), de sorte qu'elle a été retenue pour la spécification du modèle final.

- Le modèle final des VKD en auto comprenait une variable binaire dénotant un **type de route** à grille rurale très statistiquement significatif et présentant un coefficient d'une valeur modérément élevée. Il s'agissait de la seule variable désignant le type de disposition de route qui était statistiquement significative dans les passages d'essai du modèle des VKD en auto et elle a été retenue pour le modèle final. Le coefficient de cette variable a baissé quand on a introduit les intersections par kilomètre de route[7].

- Les variables indiquant la présence de **pistes cyclables** ou leur étendue dans la zone de circulation n'étaient pas statistiquement significatives ou donnaient des signes contre-intuitifs pour les coefficients du modèle des VKD en auto.

- La variable montrant le rapport entre les **grandes voies de communication** et la longueur totale des routes dans la zone de circulation était la plus robuste parmi les variables relatives aux grandes voies de communication. Sa statistique t de 1,42 dans la régression simultanée indique que le degré de confiance dans la signification statistique de cette variable est relativement élevé, bien qu'il le soit un peu moins que le niveau de 95 % indiqué par une statistique t de 1,65. Nous avons donc conservé cette variable dans le modèle final.

- L'inclusion de la variable dénotant le **nombre d'heures de service des véhicules de transport en commun**, dans le modèle des VKD en auto, entraînait souvent un signe imprévu pour le coefficient, mais la variable avait le signe attendu dans le modèle de propriété d'une auto et a été conservée dans le modèle final[8].

- **La distance par rapport à une gare de transport rapide ou à une gare GO Transit**

a été testée sous différentes formes, par exemple, comme variable binaire (1 si exacte, 0 si fausse), indiquant si la zone se situait à une distance déterminée (p. ex., un kilomètre) d'une station GO Transit ou d'une station de transport rapide. La variable s'étant révélée la plus robuste dans les résultats du modèle des VKD en auto était la distance, en kilomètres, par rapport à une gare régionale ou à une gare de transport rapide et a été incluse dans le modèle final. L'inclusion de cette variable a amélioré l'ajustement du modèle global et présentait des coefficients dont la valeur était de l'ordre de 0,5.

- Les mesures de **densité de logements** étaient des variables explicatives statistiquement significatives dans les essais de fonctionnement initiaux, mais diminuaient sur le plan de la signification statistique et de la robustesse lorsqu'on ajoutait d'autres variables, de sorte qu'elles n'ont pas été incluses dans le sous-modèle des VKD en auto. Elle a été conservée dans le sous-modèle de propriété d'une auto.

- Les variables décrivant le logement dans un quartier (p. ex., le **type de logement structural, la combinaison d'utilisations des terrains, la taille des logements**) n'étaient généralement pas statistiquement significatives dans les modèles des VKD en auto testés et entraînaient souvent des coefficients imprévus pour ces variables. Par conséquent, elles n'ont pas été retenues dans le sous-modèle des VKD en auto, mais ont été incluses dans le sous-modèle de propriété d'une auto.

**Analyse à régression simultanée des VKD en auto et de la propriété d'une auto**

Cette analyse à régression simultanée utilisait des niveaux de propriété d'auto par ménage, prévus par un modèle à régression multivariée, comme variable explicative dans le modèle à régression multivariée des VKD en auto. Les modèles de VKD en auto par ménage et de propriété d'une auto découlant de cette analyse ont produit des valeurs $R^2$ de 0,84 et 0,88 respectivement, ce qui montre le degré élevé de fiabilité de ces modèles.

La seule différence importante entre les VKD en auto et les modèles de propriété d'auto élaborés au moyen d'une régression multivariée simple et ceux élaborés au moyen d'analyses à régression multivariée simultanée concerne la variable, c'est-à-dire le nombre de véhicules par ménage. Son coefficient devrait diminuer pendant la régression simultanée, contrairement à une analyse à régression simple. Ce phénomène est attribuable à l'utilisation de valeurs prédites (et donc un peu moins précises) pour la possession d'un véhicule dans la régression simultanée. Cependant, l'usage du nombre prédit de véhicules plutôt que du nombre réel n'a réduit le coefficient que d'un faible montant, en raison du bon ajustement du sous-modèle de propriété d'auto. Nous avons également testé la forme exponentielle de la variable des véhicules par ménage, mais cela n'a pas augmenté la force prédictive du modèle, de sorte que nous avons conservé la forme linéaire, pour plus de simplicité.

La pièce 16 montre les spécifications du modèle final en matière de propriété d'auto par ménage et de VKD en auto[9]. Pour chaque variable indépendante, on a inclus la valeur moyenne, la gamme de valeurs, ainsi que l'écart-type entre les valeurs observées. Bon nombre d'essais ont été effectués sur le modèle à régression simultanée, mais seuls les résultats finals figurent ici. Une comparaison entre la signification statistique et les valeurs de coefficient applicables aux variables de la pièce 16, par rapport aux essais correspondants du modèle des pièces 14 et 15, ne montre aucune différence importante, sauf pour deux variables dans le modèle des VKD en auto : la propriété d'un véhicule et la taille du ménage. Tel que noté ci-dessus, il faut s'attendre à une différence dans la variable de la propriété d'un véhicule. Le coefficient de la variable dénotant la taille du ménage, étroitement lié au nombre de véhicules possédés par ménage, augmente pour compenser.

**Pièce 16**
**Modèles finals des VKD en automobile et de propriété d'une automobile**

**R² de l'équation des VKD en auto=0,838; R² du modèle de propriété d'un véhicule=0,878**

| Modèle des VKD en auto | Description | Coefficient | stat. t | Valeurs pour la zone étudiée | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Moy. | Minimale | Maximale | Écart-type |
| | Constante | 34,5 | 3,57 | | | | |
| | Dist. par rapp. au centre-ville (km) | 0,680 | 9,17 | 22,1 | 0,30 | 76,6 | 15,0 |
| | N^bre moy. de véh. par ménage | 15,1 | 7,62 | 1,46 | 0,128 | 3,77 | 0,504 |
| | Ln (n^bre d'emplois ds r de 5 km) | -3,60 | -5,19 | 10,76 | 4,87 | 13,16 | 1,74 |
| | Comb. d'util. de terr. ds r d'un km) | -8,73 | -2,79 | 0,845 | 0,123 | 1,000 | 0,1496 |
| | Ln (n^bre moy. de pers. par ménage) | 17,45 | 5,18 | 1,006 | 0 | 1,504 | 0,210 |
| | Dist. par rapp. à gare GO ou TR la plus proche (km) | 0,534 | 3,54 | 3,48 | 0,046 | 34,32 | 4,81 |
| | Rev. d'empl. moyen (milliers $) | 0,2282 | 4,84 | 33,4 | 14,6 | 100,9 | 11,0 |
| | Type de route = grille rurale (binaire) | 5,51 | 3,47 | 0,237 | 0 | 1 | n/a |
| | Intersections par km de route | -1,14 | -2,23 | 2,80 | 0 | 7,42 | 1,36 |
| | Rapp. gr. v. de comm. — long. tot. des routes (autres qu'express) | 12,97 | 1,42 | 0,0145 | 0 | 0,693 | 0,0526 |

| Modèle de propriété d'une automobile | Description | Coefficient | stat. t | Valeurs pour la zone étudiée | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Moy. | Minimale | Maximale | Écart-type |
| | Constante | -2,310 | -9,22 | | | | |
| | Dist. par rapp. au centre-ville (km) | 0,00448 | 5,30 | 22,07 | 0,30 | 76,6 | 15,0 |
| | N^bre d'adultes (18 ans +) par ménage | 0,433 | 18,71 | 2,19 | 1 | 3,5 | 0,340 |
| | Ln (Rev. du ménage ($)) | 0,287 | 11,68 | 10,8 | 9,2 | 12,0 | 0,394 |
| | Heures de serv. en sem. des autobus (r d'un km) | -0,00399 | -8,52 | 20,2 | 0 | 105,2 | 21,7 |
| | N^bre de magasins ds r d'un km | -0,00285 | -1,91 | 4,03 | 0 | 49 | 6,62 |
| | Comb. de types de log. ds quartier | -0,1240 | -4,31 | 0,514 | 0 | 0,973 | 0,268 |
| | Ln (log. ds r d'un km) | -0,0507 | -8,68 | 7,546 | 1,86 | 10,29 | 1,744 |
| | Taille moy. des log. (pièces/log.) | 0,0385 | 40,39 | 6,422 | 2,90 | 9,90 | 1,382 |
| | Gare de TR. ds r d'un km (binaire) | -0,0539 | -2,43 | 0,152 | 0 | 1 | - |
| | Type de route = curviligne (binaire) | 0,0291 | 1,80 | 0,288 | 0 | 1 | - |
| | Rapp. long. pistes cyclables — long. tot. des routes (autres qu'express) | -0,252 | -2,95 | 0,0311 | 0 | 0,790 | 0,0778 |

## Modèle des PKD en transport en commun

Il a été plus difficile d'élaborer le modèle des passagers-kilomètres de déplacement en transport en commun par ménage que le modèle des VKD en auto. Il était souvent plus direct de déclarer un signe prévu pour une variable dans le modèle des VKD en auto que dans le modèle des PKD en transport en commun. Cette situation est attribuable au fait que des incitatifs à l'usage accru du transport en commun augmentent également la possibilité de choisir des modes de déplacement non motorisés comme la marche ou le vélo, et peuvent réduire le nombre et la longueur des déplacements motorisés requis. Une faible valeur des PKD en transport en commun peut indiquer un faible pourcentage de l'ensemble des déplacements effectués par transport en commun, même si ceux-ci sont très longs, ou elle peut indiquer que le transport en commun est très utilisé, mais que les déplacements sont courts.

Comme pour l'élaboration des modèles des VKD en auto et de la propriété d'une auto, de nombreuses combinaisons de variables ont été testées pour élaborer le modèle des PKD en transport en commun. La pièce 17 montre un échantillon de ces modèles de tests à régression multivariée individuelle, qui utilisent des valeurs observées pour la propriété d'une auto, tandis que le modèle final à régression simultanée a été calibré au moyen de valeurs prédites de la propriété d'une auto. On discute de certaines observations sur le rendement des variables individuelles, une fois combinées à d'autres variables.

- La variable la plus robuste était celle du **nombre de personnes par ménage.** D'autres indicateurs de la taille d'un ménage, comme le nombre d'adultes par ménage ou le logarithme naturel de ces variables, ont également été testés, mais le nombre de

personnes par ménage était le plus ajusté et a été conservé dans le modèle final.

- La **propriété d'un véhicule par ménage** était également une valeur robuste et statistiquement significative et a donc été conservée dans le modèle final. Les coefficients de cette variable présentaient le signe négatif attendu : à mesure qu'augmente le nombre de véhicules possédés, les membres du ménage choisissent de conduire davantage plutôt que d'utiliser le transport en commun. Il est spécialement intéressant de voir à quel point cette variable est forte dans l'analyse multivariée, étant donné que l'analyse univariée ne suggère pratiquement aucune relation entre la propriété d'un véhicule par ménage et les PKD en transport en commun. Les valeurs du coefficient sous-entendent que chaque véhicule possédé par un ménage réduit l'usage du transport en commun d'environ quatre kilomètres. Nous avons sélectionné la propriété de véhicules par ménage pour le modèle final de PKD.

- La **densité d'emploi**, exprimée sous forme d'emplois dans un rayon d'un kilomètre, présentait uniformément un signe négatif. On s'attendait initialement à ce qu'une plus forte densité d'emplois et de services dans un secteur augmente l'usage du transport en commun, mais simultanément, elle réduit la durée des déplacements et encourage le déplacement non motorisé. Par conséquent, l'effet net serait une réduction des PKD, et le signe attendu de ce coefficient est négatif, tout comme dans la spécification du modèle final.

- Tout comme pour la densité d'emploi, une augmentation du **nombre des occasions de magasinage** dans un rayon d'un kilomètre réduirait le nombre et la durée des déplacements motorisés nécessaires. Par conséquent, le signe attendu pour le coefficient correspondant au nombre d'épiceries dans un rayon d'un kilomètre est négatif. Cette variable était statistiquement significative et étonnamment robuste. Les valeurs du coefficient étaient de l'ordre de –0,17 à –0,2. Cette variable a été retenue pour le modèle final.

- La **densité des logements**, exprimée sous forme de logarithme naturel du nombre d'unités dans un rayon d'un kilomètre du centre de gravité du quartier, présentait un coefficient positif dans les modèles testés et elle était toujours statistiquement significative. Cela coïncide avec le fait qu'en général, il faut atteindre une certaine densité minimale de logements pour donner lieu à un service efficace de transport en commun. Par conséquent cette variable a été retenue pour le modèle final.

- La relation entre les PKD en transport en commun par ménage et la **distance par rapport au centre-ville** était exprimée sous forme de fonction quadratique par l'inclusion à la fois d'une variable linéaire et d'une variable quadratique. Cette paire de variables a donné de bien meilleurs résultats qu'une seule variable linéaire. Les deux variables étaient uniformément robustes et statistiquement significatives et ont produit le signe prévu pour reproduire la courbe de la pièce 17 et, par conséquent, ont été conservées pour le modèle final.

- Le **nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres** avait tendance à ne pas être une variable statistiquement significative, même sans l'inclusion de variables mesurant la distance par rapport au centre-ville. Par conséquent, cette variable n'a pas été incluse dans le sous-modèle des PKD en transport en commun, mais elle a été retenue dans le sous-modèle des VKD en auto.

- Étant donné que les deux groupes les plus susceptibles d'utiliser un transport en commun sont les jeunes et les personnes âgées, on prévoyait que la proportion de la **population de moins de 16 ans** serait un bon prédicteur de l'usage du transport en commun. Cependant, cette variable avait tendance à ne pas être statistiquement

## Pièce 17

## PKD en transport en commun par menage : Passages d'essai de modele au moyen d'une analyse simple a regression multivariee

| Variable | Signe prévu | Toutes les variables | Passage d'essai du modèle | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20* |
| Constante | | -9,89<br>(-2,66) | 0,294<br>(0,293) | 0,116<br>(0,139) | -1,30<br>(-1,08) | -0,333<br>(-0,279) | -2,80<br>(-1,85) | -5,17<br>(-2,61) | -3,94<br>(-1,98) | -4,56<br>(-1,46) | -0,674<br>(-3,90) | -4,42<br>(-2,00) | -4,30<br>(-2,13) | -4,48<br>(-2,24) | -5,11<br>(-2,26) | -4,52<br>(-2,25) | -5,65<br>(-2,62) | -5,19<br>(-2,56) | -6,31<br>(-3,87) | -5,90<br>(-2,88) | -5,34<br>(-2,54) | -6,89<br>(-2,64) |
| Dist. par rapp. au centre-ville (km) | + | 0,257<br>(3,39) | -0,0450<br>(-1,17) | 0,128<br>(2,93) | 0,178<br>(3,31) | 0,186<br>(3,42) | 0,289<br>(5,22) | 0,183<br>(3,41) | 0,188<br>(3,51) | 0,194<br>(3,34) | | 0,190<br>(3,40) | -0,0286<br>(-1,26) | 0,186<br>(3,40) | 0,177<br>(3,34) | 0,182<br>(3,43) | 0,213<br>(4,02) | 0,193<br>(3,52) | | 0,209<br>(3,71) | 0,197<br>(3,46) | 0,214<br>(3,69) |
| Dist. par rapp. au centre-ville ($km^2$) | - | -0,00361<br>(-4,11) | -0,00148<br>(-2,37) | -0,00268<br>(-4,85) | -0,00345<br>(-4,83) | -0,00356<br>(-4,97) | -0,00478<br>(-6,52) | -0,00313<br>(-4,33) | -0,00339<br>(-4,67) | -0,0034<br>(-4,67) | | -0,00306<br>(-4,24) | | -0,00311<br>(4,24) | -0,00298<br>(-4,11) | -0,00308<br>(-4,24) | -0,0339<br>(-4,73) | -0,0032<br>(-4,36) | | -0,00372<br>(-4,90) | -0,00323<br>(-4,37) | -0,00336<br>(-4,59) |
| Personnes/ménage | + | 4,40<br>(1,77) | 4,34<br>(11,7) | 5,85<br>(14,5) | 5,74<br>(14,1) | | | 5,51<br>(13,2) | 5,34<br>(12,7) | 5,32<br>(12,4) | 5,93<br>(14,5) | 5,51<br>(13,3) | 5,98<br>(14,8) | 5,51<br>(13,3) | 5,45<br>(12,9) | 5,70<br>(10,5) | 5,84<br>(13,7) | 5,69<br>(13,8) | 6,16<br>(15,3) | 5,77<br>(14,0) | 5,69<br>(13,8) | 5,79<br>(13,8) |
| Véhicules/ménage (observée) | - | -4,14<br>(-4,77) | | -4,71<br>(-8,02) | -4,36<br>(-6,98) | -4,18<br>(-6,68) | -4,40<br>(-6,25) | -3,59<br>(-5,14) | -3,57<br>(-5,14) | -3,57<br>(-5,13) | -3,57<br>(-5,17) | -3,9<br>(-5,67) | -3,86<br>(-5,15) | -4,07<br>(-5,22) | -3,95<br>(-5,12) | -4,02<br>(-5,55) | 3,82<br>(-5,68) | -3,79<br>(-5,56) | -3,49<br>(-5,10) | -3,72<br>(-5,47) | -3,77<br>(-5,50) | -3,76<br>(-5,51) |
| Heures de service en sem. des autobus (r d'un km) | + | 0,0748<br>(4,28) | | | 0,0233<br>(1,59) | 0,0267<br>(1,82) | 0,0244<br>(1,58) | 0,0251<br>(1,72) | 0,0325<br>(2,20) | 0,033<br>(2,21) | 0,048<br>(3,34) | 0,0698<br>(4,23) | 0,0427<br>(2,77) | 0,0707<br>(4,25) | 0,0714<br>(4,22) | 0,0691<br>(4,17) | 0,0737<br>(4,50) | 0,0751<br>(4,58) | 0,0668<br>(3,87) | 0,0736<br>(4,50) | 0,0757<br>(4,58) | 0,0747<br>(4,55) |
| Ln (logements ds r d'un km) | - | 0,78<br>(3,40) | | | | | | 0,403<br>(2,47) | 0,816<br>(3,74) | 0,801<br>(3,54) | 0,672<br>(3,00) | 0,831<br>(3,67) | 0,878<br>(4,04) | 0,831<br>(3,67) | 0,817<br>(3,71) | 0,847<br>(3,90) | 0,836<br>(3,83) | 0,898<br>(3,76) | 0,911<br>(4,36) | 0,827<br>(3,66) | 0,811<br>(3,79) | 0,799<br>(3,66) |
| Ln (emplois ds r d'un km) | - | -6,53<br>(-2,97) | | | | | | | -5,36<br>(-2,84) | -0,562<br>(-2,62) | -0,443<br>(-2,12) | -0,801<br>(-2,69) | -0,402<br>(-2,84) | -0,509<br>2,72 | -0,501<br>(-2,63) | -0,511<br>(-2,72) | -0,516<br>(-2,79) | -0,551<br>(2,96) | -0,412<br>(-2,26) | -0,566<br>(-3,10) | -0,560<br>(-2,96) | -0,62<br>(-3,77) |
| N= de magasins ds un r d'un km | - | -0,159<br>(-4,22) | | | | | | | | | -0,198<br>(-5,36) | -0,176<br>(-4,62) | -0,191<br>(-5,21) | -0,175<br>(-4,78) | -0,179<br>(-4,87) | -0,177<br>(-4,84) | -0,17<br>(-4,70) | -0,172<br>(-4,76) | -0,186<br>(-5,43) | -0,161<br>(-4,43) | -0,172<br>(-4,74) | -0,180<br>(-4,87) |
| Dist. p rapp. centre-ville (km), gare TR à moins d'un km | + | 0,254<br>(4,12) | | | | | | | | | | | | | | | 0,244<br>(4,04) | 0,248<br>(4,10) | 0,227<br>(3,76) | 0,252<br>(4,18) | 0,250<br>(4,10) | 0,250<br>(4,13) |
| Dist. p rapp. centre-ville (km), gare GO à moins de 2 km | + | 0,0222<br>(1,40) | | | | | | | | | | | | | | | | 0,0217<br>(1,37) | 0,0301<br>(1,98) | 0,0226<br>(1,44) | 0,0218<br>(1,38) | 0,0215<br>(1,39) |
| Ln (personnes/ménage) | + | | | | | 14,6<br>(13,8) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Adultes/ménage | + | 1,89<br>(0,622) | | | | | 7,25<br>(10,5) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ln (emplois ds r de 5 km) | + | 0,256<br>(0,820) | | | | | | | | 0,0796<br>(0,259) | 0,21<br>(-0,915) | | | | | | | | | | | |
| Rev. d'emploi du ménage (milliers $) | - | 0,00415<br>(0,338) | | | | | | | | | | | | 0,00467<br>(0,459) | | | | | | | | |
| % de maisons ind. isolées | - | -0,0137<br>(-0,532) | | | | | | | | | | | | | -0,00867<br>(-0,514) | | | | | | | |
| Pièces/logement | - | 0,12<br>(0,521) | | | | | | | | | | | | | 0,184<br>(0,737) | | | | | | | |
| Comb. de types de log. | + | 0,234<br>(0,314) | | | | | | | | | | | | | 0,274<br>(0,336) | | | | | | | |
| % de la pop. ayant moins de 16 ans | + | 2,92<br>(0,327) | | | | | | | | | | | | | | -1,63<br>(0,536) | | | | | | |
| Gr. Voies de comm. à 3 voies — binaire | ? | 1,06<br>(2,26) | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,00<br>(2,20) | | |
| Rapp. long. des pistes cyclables sur rue — long. tot. des routes | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,586<br>(0,271) | |
| Pistes cyclables — binaire | + | 0,498<br>(1,17) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0,647<br>(1,69) |
| $R^2$ | | 0,386 | 0,348 | 0,297 | 0,299 | 0,292 | 0,239 | 0,364 | 0,311 | 0,312 | 0,315 | 0,331 | 0,316 | 0,331 | 0,332 | 0,331 | 0,346 | 0,348 | 0,322 | 0,363 | 0,347 | 0,349 |

Notes:
0,000 coefficient de variable
(0,000) statistique t

Ln = logarithme naturel de la variable

* Les variables indiquées dans la colonne ombrée sont celles qui ont été utilisées dans le modèle final.

significative dans les modèles testés et n'a pas été retenue dans le sous-modèle des PKD en transport en commun.

- Comme on pouvait s'y attendre, les variables décrivant le **niveau du service de transport en commun** disponible étaient robustes et statistiquement significatives. Les variables dénotant la distance par rapport au centre-ville, lorsqu'une gare de transport rapide était située dans un rayon d'un kilomètre, et la distance entre le centre-ville et une gare GO Transit était de deux kilomètres ou moins, correspondaient également aux critères, de sorte qu'elles ont été retenues pour le modèle final.

- Les variables indiquant les **grandes voies de communication** dans la zone de circulation étaient statistiquement significatives dans les passages d'essai. Toutefois, le signe prévu du coefficient est sujet à discussion. Alors que les grandes voies de communication peuvent accroître la rapidité des déplacements en transport en commun, chacun de ces déplacements exige que l'usager marche une certaine distance et on s'attend à ce que ce type de routes diminue la «convivialité pour les piétons» de la zone. Par conséquent, cette variable n'a pas été retenue pour le modèle final des PKD en transport en commun.

- Parmi les variables décrivant l'étendue des **pistes cyclables** dans la zone de circulation, la variable binaire montrant seulement la présence d'une piste cyclable dans la zone de circulation s'est révélée la plus statistiquement significative et a été conservée pour le modèle final.

- D'autres variables ont également été testées : **le revenu, le nombre d'intersections par kilomètre de route, les variables relatives au type de disposition des routes et celles qui** décrivaient les **logements du quartier**. Elles n'ont pas été retenues dans le sous-modèle des PKD, car leur inclusion entraînait souvent des signes inattendus pour les coefficients, ou encore, elles n'étaient pas statistiquement significatives. Nous les avons néanmoins conservées dans le modèle final en raison des bons résultats obtenus dans les deux autres sous-modèles.

Les spécifications du modèle final se trouvent à la pièce 18[10]. Dans ce modèle, nous avons utilisé pour le calibrage des valeurs de propriété d'auto prédites par le modèle de propriété de véhicule.

Le modèle final des PKD en transport en commun utilise les niveaux de propriété d'auto prédits au moyen du modèle à régression de la propriété d'auto. L'ajustement global ($R^2$) du modèle des

Pièce 18
Modèle final des PKD en transport en commun

$R^2$ du modèle des PKD en transport en commun=0,329

| Modèle des PKD en transport en commun | Variable | Coefficient | stat. t | Valeurs pour la zone étudiée | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Moy. | Minimale | Maximale | Écart-type |
| | Constante | -7,03 | -2,88 | | | | |
| | Dist. par rapp. au centre-ville (km) | 0,182 | 3,20 | 22,1 | 0,30 | 76,6 | 15,0 |
| | Dist. par rapp. au centre-ville (km), au carré | -0,00294 | -3,94 | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | Nbre moy. prévu de véh. par ménage | -2,84 | -2,57 | 1,461 | 0,13 | 3,77 | 0,504 |
| | Hrs de serv. des transp. en commun ds r d'un km du centre de gravité | 0,7687 | 4,30 | 20,2 | 0 | 105,2 | 21,7 |
| | Ln (nbre de log. ds r d'un km) | 0,870 | 3,66 | 7,55 | 1,86 | 10,3 | 1,7 |
| | Taille moy. des ménages (pers./ménage) | 5,47 | 10,66 | 2,79 | 1,0 | 4,5 | 0,55 |
| | Ln (nbre emplois ds r d'un km du centre de gravité) | -0,496 | -2,60 | 7,40 | 0 | 12,3 | 2,0 |
| | Nbre magasins ds r d'un km du centre de gravité de la zone | -0,165 | -4,40 | 4,03 | 0 | 49 | 6,62 |
| | Gares de TR ds r d'un km (binaire) X dist. p. rapp. au centre-ville (km) | 0,243 | 3,95 | 0,930 | 0 | 17,9 | 2,73 |
| | Gares GO ds r de 2 km (binaire) X dist. p. rapp. au centre-ville (km) | 0,023 | 1,48 | 5,529 | 0 | 46,7 | 10,83 |
| | Pistes cyclables dans le quartier (binaire) | 0,6422 | 1,58 | 0,264 | 0 | 1,0 | - |

PKD en transport en commun est légèrement réduit par l'usage de niveaux prévus pour la propriété d'auto : de 0,35 à 0,33, mais cet usage s'est révélé plus uniforme avec l'approche employée pour le modèle des VKD en auto. Étant donné la faible valeur $R^2$, le modèle des PKD en transport en commun devrait être observé avec certaines précautions.

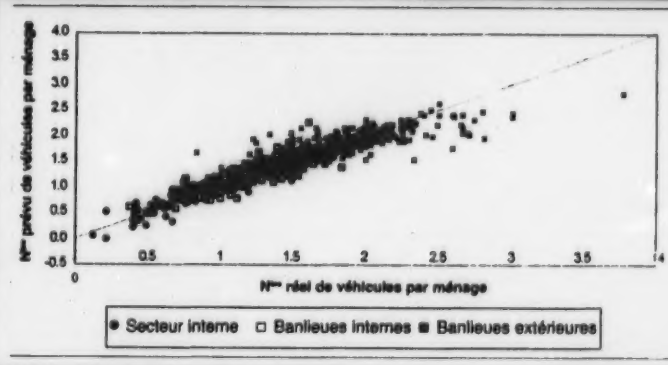
**Validations et sensibilité du modèle**

En plus des valeurs $R^2$ pour l'évaluation de l'ajustement d'un modèle, les graphiques illustrant les valeurs prédites et réelles des variables dépendantes peuvent se révéler utiles. La pièce 19 montre un tel graphique pour la propriété d'une auto par ménage. On peut voir qu'en général, les points se situent très près de la diagonale où les valeurs prédites correspondent aux valeurs réelles, ce qui augmente la confiance à l'égard des résultats du modèle.

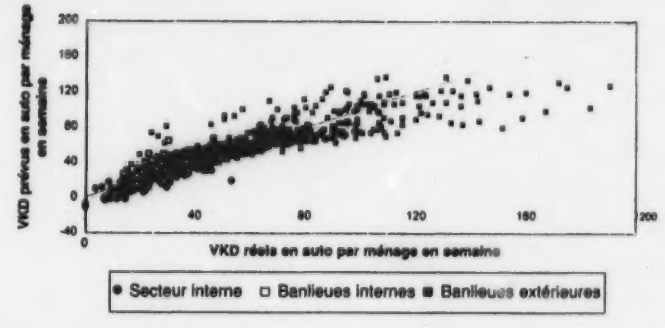
La pièce 20 est un graphique représentant les valeurs prédites et réelles pour les VKD en auto par ménage. Ce graphique montre qu'en général, les prédictions du modèle sont très justifiées, car la plupart des points se situent très près de la diagonale. Il y a une douzaine de points où les VKD réels en auto en semaine par ménage étaient de plus de 120 kilomètres, mais le modèle sous-estimait de 40 ou plus les valeurs des VKD. Ces points représentent tous des zones situées dans la périphérie, et ils sont tous à au moins 25 kilomètres du centre-ville de Toronto. Aucune caractéristique commune n'a pu être détectée entre ces zones à forte circulation, qui aurait permis d'améliorer l'ajustement du modèle.

La pièce 21 montre les valeurs prédites et réelles pour les PKD en transport en commun par ménage. Comme on peut s'y attendre à partir des valeurs $R^2$ plus faibles pour ce modèle, le graphique montre un ajustement moins précis que dans le cas des deux sous-modèles précédents. Ce qui est plus remarquable, c'est que la gamme de valeurs prédites du modèle est nettement inférieure à celle des valeurs réelles : en effet, les valeurs réelles des PKD en transport en commun par ménage vont jusqu'à 33, tandis que le modèle n'en prédit pas plus de 19. Le

Pièce 19
Validation du modèle de propriété d'une auto par ménage : Valeurs prédites et réelles




Pièce 20
Validation du modèle des VKD en auto par ménage en semaine : Valeurs prédites et réelles



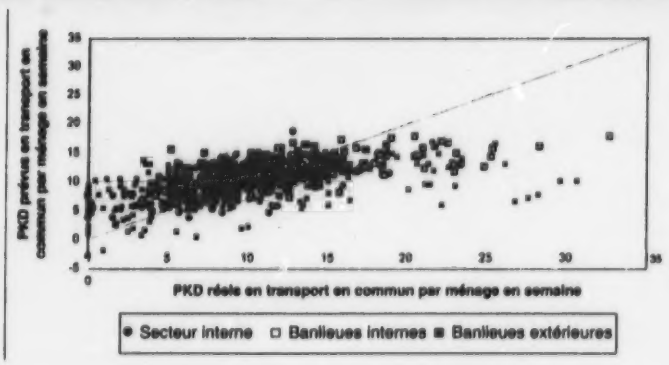
graphique montre que les points représentant les zones intérieures sont les plus rapprochées de la diagonale, tandis que les secteurs situés en périphérie ne correspondent pas aussi bien aux prévisions du modèle. Les points ayant les plus hautes valeurs réelles pour les PKD représentent tous des zones de circulation situées à une distance approximative de 20 à 40 kilomètres du centre-ville. Certaines, mais pas toutes, des zones de circulation pour lesquelles les valeurs des PKD en transport en commun sont les plus sous-estimées se trouvent généralement autour des gares GO Transit. Cela souligne la difficulté d'utiliser une équation à régression simple pour évaluer le déplacement par transport en commun, lorsque ce dernier comprend divers services. Une mesure du service GO Transit, ajoutée à la proximité d'une gare GO Transit, améliorerait peut-être le modèle jusqu'à un certain point.

Nous avons entrepris une analyse de sensibilité portant sur les VKD en auto et les PKD en transport en commun par ménage, en les comparant aux fluctuations de toutes les variables intégrées aux modèles. Pour cette analyse, les valeurs de toutes les variables étaient considérées comme correspondant aux moyennes de la zone étudiée, tandis qu'une variable explicative a été modifiée selon toute la gamme des valeurs observées. Pour cette analyse, le modèle de propriété d'auto était intrinsèque aux deux autres modèles : modifier le nombre d'autos possédées en changeant la valeur d'une variable explicative se refléterait dans les VKD en auto ou les PKD en transport en commun résultants pour chaque cas.

L'impact des variables explicatives sur les VKD en auto et les PKD en transport en commun est illustré respectivement aux pièces 22 et 23. Les pentes des lignes résultantes sont incluses dans les graphiques. Lorsque l'analyse de sensibilité produit une courbe, la pente est considérée comme la valeur moyenne de la variable. Ces pièces montrent que les variables ayant le plus grand impact sur les VKD en auto ont tendance à être les facteurs d'emplacement, suivis des facteurs socio-économiques. Les facteurs de conception de quartier ont également des répercussions, mais pas dans la même mesure. Le chapitre 5 détaille davantage les conséquences de cette situation pour la planification de l'aménagement urbain afin de réduire les émissions de GES produites par les transports.

Une autre façon d'évaluer les répercussions de chaque variable consiste à observer son « impact », c'est-à-dire sa contribution à la variable dépendante, en comparaison avec celle de toutes les autres variables. La pièce 24 montre « l'impact » de chaque variable, en supposant une augmentation de 10 % de la variable par rapport à la valeur moyenne. On donne également une évaluation plus large de l'impact global de la variable.

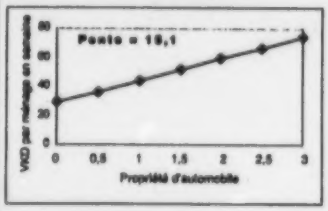
Pièce 21
Validation du modèle des PKD en transport en commun par ménage en semaine : Valeurs prédites et réelles

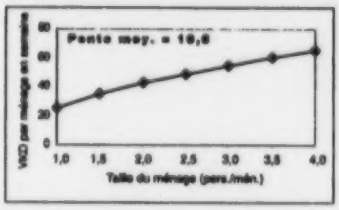


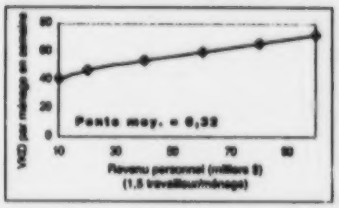
Pièce 22

Impact de divers facteurs sur les VKD* en auto par ménage en semaine

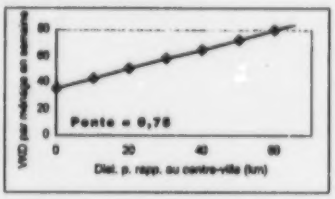
**Variables socio-économiques**

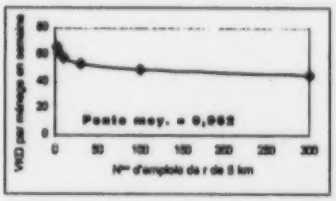


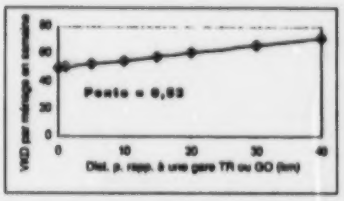



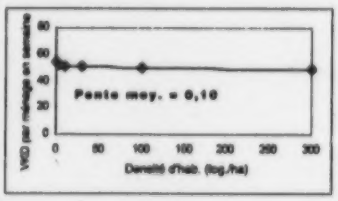

**Variables d'emplacement**

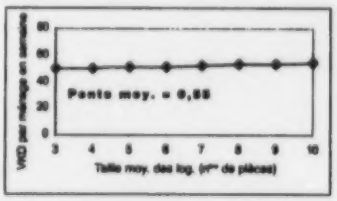


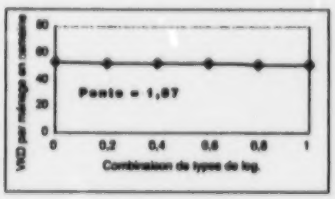



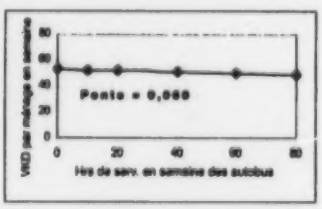



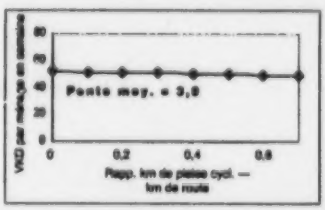

**Variables de quartier**

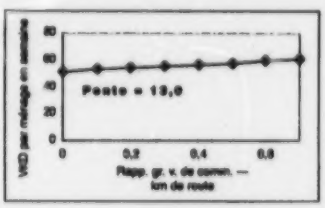


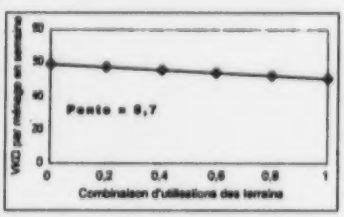



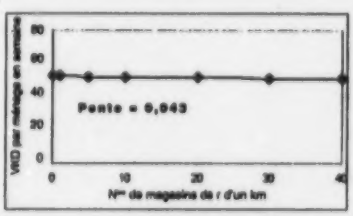



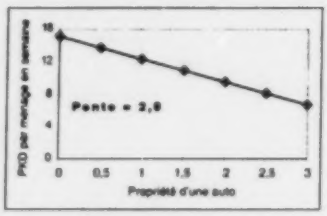



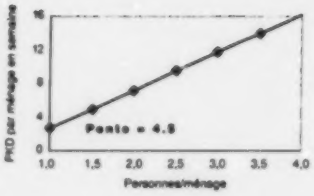

Note : * Les VKD, en supposant un coefficient de la variable en question multiplié par la gamme de ses valeurs observées.

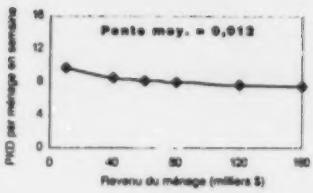
Piece 23

Impact de divers facteurs sur les PKD* en transport en commun par ménage en semaine

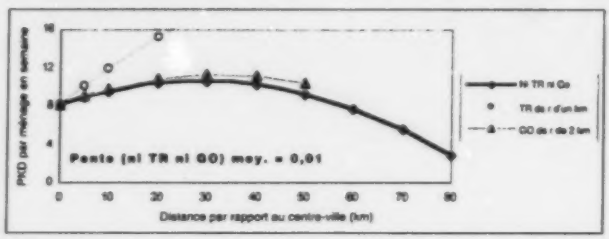
**Variables socio-économiques**



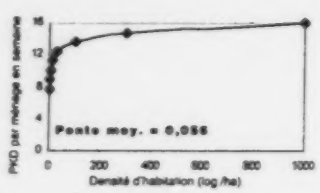



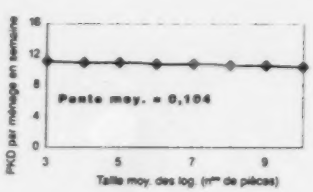



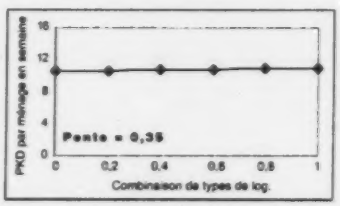

**Variables d'emplacement**

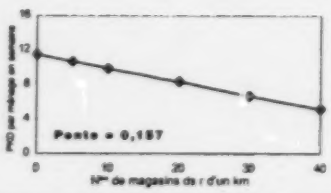


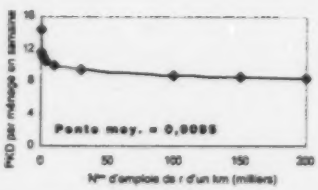

**Variables de quartier**

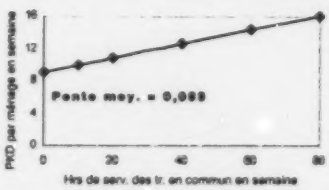



## Sommaire des analyses à régression multiple et impact des variables

Les principales variables influant sur **la propriété d'une auto** et qui, à leur tour, influent sur les émissions de gaz à effet de serre provoquées par les déplacements en auto et par le transport en commun, sont les suivantes (dans l'ordre approximatif décroissant d'importance) :

- nombre d'adultes dans le ménage;
- revenu du ménage;
- dimensions du logement;
- distance par rapport au centre-ville; et
- service local de transport en commun.

La taille moyenne des logements, la composition diverse des types de maison structurale, l'accessibilité des magasins, la présence ou l'absence d'une gare de transport rapide dans un rayon d'un kilomètre, et la présence d'une route de type curviligne avaient également une relation statistiquement

Piece 24

Impact des variables explicatives sur les VKD en auto, les PKD en transport en commun et la propriété d'une automobile par ménage

Modèle des VKD en auto

| Description | Var. en % des VKD attribuable à une hausse de 10 % de la variable [1] | Impact global de la variable [2] |
|---|---|---|
| Constante | s.o. | s.o. |
| Dist. par rapp. au centre-ville (km) | 2,90 % | * * * |
| N^bre moy. de véh. par ménage | 4,25 % | * * * |
| Ln (n^bre d'emplois ds r de 5 km) | -0,66 % | * * |
| Comb. d'utilis. des terrains ds r d'un km | -1,42 % | * * |
| Ln (n^bre moy. de personnes par ménage) | 3,21 % | * * * |
| Dist. par rapp. à la gare GO ou TR la plus proche (km) | 0,36 % | * |
| Revenu moyen d'emploi (milliers $) | 1,47 % | * * |
| Type de route = grille rurale (binaire) | 0,25 % | * |
| Intersections/km de route | -0,62 % | * |
| Rapport — long. gr. voies comm. — long. tot. des routes (autres qu'express) | 0,04 % | * |

Modèle des PKD en transport en commun

| Description | Var. en % des VKD attribuable à une hausse de 10 % de la variable [1] | Impact global de la variable [2] |
|---|---|---|
| Constante | s.o. | s.o. |
| Dist. par rapp. au centre-ville (km) | 3,72 % | * * |
| Dist. par rapp. au centre-ville (km), au carré | -1,33 % | * * |
| N^bre moy. prévu de véh. par ménage | -3,84 % | * * * |
| H. serv. transp. en commun ds r d'un km du centre de gravité | 14,38 % | * * * |
| Ln (n^bre de log. ds r d'un km) | 0,77% | * |
| Taille moyenne des ménages (pers./ménage) | 14,13 % | * * * |
| Ln (n^bre d'empl. ds r d'un km du centre de gravité) | -0,44 % | * * |
| Nbre de magasins ds r d'un km du centre de gravité | -0,62 % | * |
| Gare TR ds r d'un km (binaire) X dist. p. rapp. au centre-ville (km) | 0,21 % | * * |
| Gare GO ds r d'un km (binaire) X dist. p. rapp. au centre-ville (km) | 0,12 % | * |
| Pistes cyclables dans le quartier (binaire) | 0,16 % | * |

Véhicule par ménage

| Description | Var. en % des VKD attribuable à une hausse de 10 % de la variable [1] | Impact sur les VKD en auto | Impact sur les PKD en transp. en comm. | Impact global de la variable [2] |
|---|---|---|---|---|
| Constante | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. |
| Dist. par rapp. au centre-ville (km) | 0,65 % | 0,19 % | -1,84 % | * * |
| N^bre d'adultes (18 ans +) par ménage | 6,23 % | 1,81 % | -17,66 % | * * * |
| Ln (Revenu du ménage ($)) | 1,79% | 0,52 % | -5,08 % | * * * |
| H. serv. tr. en comm. en semaine (r d'un km) | -0,53 % | -0,15 % | 1,50 % | * * |
| N^bre de magasins ds r d'un km | -0,08 % | -0,02 % | 0,21 % | * |
| Comb. de types de log. dans le quartier | -0,42 % | -0,12 % | 1,18 % | * * |
| Ln (n^bre de log. ds r d'un km) | -0,32% | -0,09 % | 0,90 % | * |
| Taille moy. des log. (pièces/log.) | 1,54 % | 0,45 % | -4,36 % | * * |
| Gare TR ds r d'un km (binaire) | -0,05 % | -0,02 % | 0,15 % | * |
| Type de route = curviligne (binaire) | 0,05 % | 0,02 % | -0,16 % | * |
| Rapport long. Des pistes cyclables — long. tot. des routes (autres qu'express) | 0,05 % | 0,01 % | 0,15 % | * |

[1] Basée sur une hausse de 10 % de la valeur de la variable par rapport à la moyenne dans la RGT, multipliée par la valeur du coefficient et divisée par la valeur VKD/PKD/propriété d'auto découlant des valeurs moyennes

[2] Trois * = impact important sur la variable dépendante; 2 * = impact moyennement important; 1 * = impact relativement faible sur la variable dépendante

significative aux niveaux du nombre de véhicules possédés par ménage.

Voici les principales variables influant sur les déplacements en auto (VKD) (ici encore, dans l'ordre approximatif de force explicative décroissante) :

- distance par rapport au centre-ville;
- propriété d'un véhicule;
- emploi dans un rayon de cinq kilomètres;
- nombre de personnes par ménage;
- composition d'utilisations des terrains; et
- revenu personnel.

La distance par rapport aux gares régionales ou de transport rapide, le caractère rural ou non du type de disposition des routes, ainsi que le nombre d'intersections par kilomètre de route,

étaient également des variables statistiquement significatives pour expliquer les VKD en auto.

**L'usage du transport en commun (PKD)** était directement touché par les facteurs suivants :

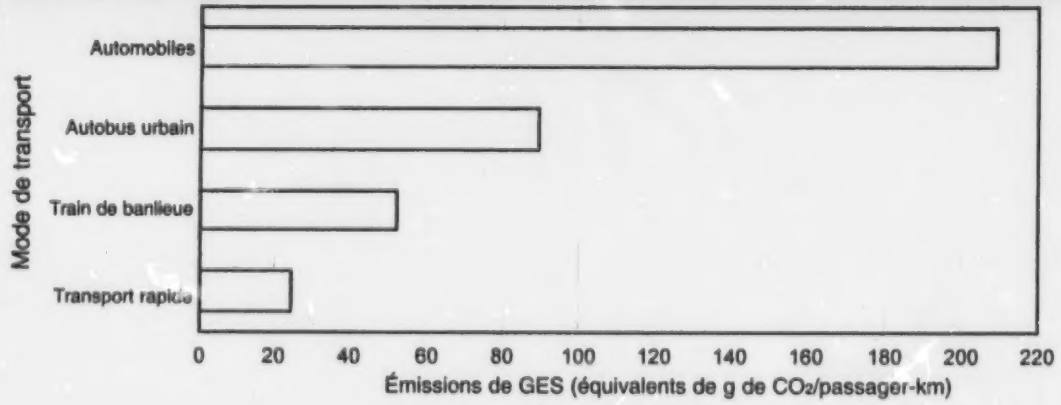
- le service local de transport en commun est lié au nombre de personnes dans le ménage;
- propriété d'une auto;
- distance par rapport au centre-ville (exprimée sous forme fonctionnelle quadratique);
- densités d'habitation du quartier;
- présence de gares de transport rapide (TR) dans un rayon d'un kilomètre;
- présence de magasins et de perspectives d'emploi dans la localité;
- présence de pistes cyclables dans le quartier; et
- présence de gares de chemin de fer de banlieue dans un rayon de deux kilomètres.

## Élaboration de facteurs d'émission

Les trois principaux éléments des gaz à effet de serre (GES) sont le gaz carbonique ($CO_2$), le méthane ($CH_4$) et l'oxyde nitreux ($N_2O$). Le gaz carbonique est de loin le GES le plus important, car il représente plus de 81 % des répercussions des émissions entropiques de GES provenant de toutes les sources au Canada, et environ 91 % de celles provenant des moyens de transport. En général, les émissions de $CO_2$ sont bien développées pour de nombreuses sources, les facteurs relatifs au $CH_4$ sont moins bien définis, et les facteurs touchant le $N_2O$ sont souvent limités et moins certains (Environnement Canada, 1997). Les facteurs d'émission utilisés dans notre étude représentent une valeur combinée pour les trois principaux gaz à effet de serre et sont exprimés en équivalents de $CO_2$. Deux sources ont servi à élaborer des facteurs représentatifs des GES (IBI Group, 1998).

Tel qu'indiqué à la pièce 25, quand on établit un graphique entre les émissions de GES et le nombre de passagers-kilomètres pour divers moyens de transport, les véhicules routiers personnels sont de loin les moyens de transport personnel les plus producteurs de GES. Lorsque la situation est exprimée sous

Pièce 25
Émissions de GES par mode de transport de personnes




Source : Basé sur les chiffres tirés du document « OECD Environmentally Sustainable Transportation (EST) Study — Québec-Windsor Corridor », projet de rapport sur la Phase 2, préparé pour Environnement Canada par l'IBI Group, en association avec A.K Socio-Technical Consultants (Ottawa) Inc., mars 1998.

forme de passagers-kilomètres, les automobiles dégagent plus de huit fois plus de $CO_2$ que le transport en commun, et environ 2,4 fois plus que les autobus urbains. (Cette valeur se base sur une moyenne pondérée de 1,4 passager par automobile; le modèle élaboré dans notre étude prédit des VKD axés sur la conduite d'automobiles.)

Les estimations des gaz d'échappement par auto, utilisées dans notre étude et dans le chiffrier électronique, se basent surtout sur les VKD, et utilisent une efficience moyenne du carburant pour toutes les conditions de conduite et pour tous les types de véhicules. Il ne faut pas oublier que laisser tourner le moteur au ralenti ou faire de fréquents arrêts (par exemple, lorsque la circulation est dense) diminue l'efficaticé du carburant et augmente les émissions de GES par rapport aux déplacements en dehors de la circulation. En outre, il est bien connu que différents types de véhicules présentent des consommations spécifiques de carburant largement différentes.

Les émissions annuelles calculées par le chiffrier électronique proviennent de la multiplication des valeurs quotidiennes estimatives de déplacement par ménage, par des facteurs d'expansion tenant compte de l'extension des déplacements effectués en semaine aux déplacements annuels, de la sous-déclaration des déplacements discrétionnaires dans l'ensemble des données de la TTS de 1996, ainsi que de la quantité de $CO_2$ produite par kilomètre parcouru.

Pour les VKD en auto, les facteurs d'expansion ont été élaborés comme suit :

- L'échantillon de données du TTS employées dans la présente étude comprenait des ménages possédant au total 1,92 million de véhicules. En supposant une moyenne de 18 000 kilomètres par véhicule et par année (Environnement Canada, 1997), on obtient un total annuel de 34,7 milliards de VKD pour les ménages dans l'ensemble de données.

En appliquant un facteur d'ajustement pour sous-déclaration de 1,47 au nombre total de déplacements en véhicule déclarés, on établit à 88,9 millions de kilomètres le VKD total en semaine pour les ménages dans l'ensemble de données. Cela entraîne un facteur d'expansion (de quotidien à annuel) de 390 pour ce qui est des VKD de ménages. Le fait que le facteur soit supérieur au nombre de jours d'un an sous-entend que les déplacements de fin de semaine (ainsi que des jours fériés et des congés) sont en moyenne plus longs que ceux effectués en semaine.

- Environnement Canada calcule une consommation spécifique moyenne pondérée de 11,3 litres aux 100 kilomètres, et une production de 2 360 grammes de $CO_2$ par litre de carburant. Par conséquent, un véhicule-kilomètre de déplacement en auto produit 267 grammes de $CO_2$ ou 294 grammes de GES en équivalents de $CO_2$.

- Bref, chaque unité de VKD prédite par le modèle est multipliée par 1,46 (facteur de sous-déclaration) x 390 (facteur correspondant à l'extension des déplacements en semaine aux déplacements annuels) x 294 grammes (équivalents $CO_2$ par véhicule-kilomètre parcouru).

Les facteurs d'expansion pour les PKD en transport en commun ont été élaborés comme suit :

- Le nombre annuel de passagers-kilomètres en transport en commun, ayant voyagé dans la RMR de Toronto en 1996, est de 6,5 milliards de PKD. Établie proportionnellement au nombre de ménages dans l'ensemble de données, réduite selon les ménages dans les zones de circulation n'étant pas statistiquement significatives, cette valeur se ramène à 6,4 PKD.

- Le nombre total de PKD en semaine pour les ménages des zones de circulation, dans l'ensemble des données, était de

21 243 000 PKD (après l'application d'un facteur de sous-déclaration de 1,30). Par conséquent, le facteur approprié d'expansion (de quotidien à annuel) par ménage est de 300, c'est-à-dire inférieur au nombre de jours d'un an, et ce qui sous-entend que les déplacements totaux des fins de semaine en transport en commun sont inférieurs aux déplacements en semaine, ce qui est un résultat raisonnable, étant donné la forte prédominance de l'usage du transport en commun pour se rendre au travail.

- En reconnaissance du fait que les divers modes de transport en commun génèrent différents niveaux d'émissions de $CO_2$, comme le montre la pièce 25, nous avons mis au point des modèles de régression simple en utilisant les données de la TTS pour estimer le pourcentage de déplacements en transport en commun qui se faisaient par transport rapide, train de banlieue et autobus. Ces modèles se fondent sur les distances par rapport à la gare la plus proche de train de banlieue ou de transport en commun rapide et sur la distance par rapport au centre-ville[11]. Pour plus de simplicité, on suppose que le pourcentage de déplacements est proportionnel au pourcentage de PKD. Le facteur approprié d'émissions pour chaque mode de transport, soit 22 g de $CO_2$/PKD pour le métro, 47 g $CO_2$/PKD pour le train de banlieue et 81 g $CO_2$/PKD pour les autobus, est alors appliqué aux valeurs PKD des transports en commun selon le mode.

- Bref, chaque unité de VKD prédite par le modèle et perfectionné par le mode de transport en commun est multipliée par 1,30 (facteur de sous-déclaration) x 300 (facteur de conversion des déplacements en semaine en déplacements annuels) x les équivalents appropriés de $CO_2$ par passager-kilomètre parcouru.

## Chiffrier électronique pour évaluer les quartiers

Le principal objet de notre étude est d'élaborer un outil convivial pour faciliter l'usage du modèle final, dont l'élaboration a été exposée dans le présent chapitre, pour évaluer les émissions de GES relatives à n'importe quel quartier, décrit par sa conception communautaire, ainsi que ses caractéristiques d'emplacement et socio-économiques. Le chiffrier électronique a servi à évaluer les neuf différents scénarios de quartier au chapitre 5.

Le chiffrier est mémorisé sous forme d'un fichier, appelé « tool.xls », qui peut être ouvert comme un chiffrier électronique habituel dans Microsoft Excel 7.0. En ouvrant le fichier, l'utilisateur voit une image qui présente le chiffrier.

Les autres parties du chiffrier sont :

- La feuille du **menu principal**, qui présente les boutons de commande permettant à l'utilisateur d'accéder à un formulaire pour changer les variables d'entrée, imprimer ou examiner les résultats du modèle, sauvegarder le modèle ou sortir de l'application. Cette feuille de travail comprend aussi un « gestionnaire de scénarios » qui permet à l'utilisateur de choisir un des scénarios intégrés de quartier dont il est question au chapitre 5 ou un scénario qu'il aura lui-même créé et sauvegardé.

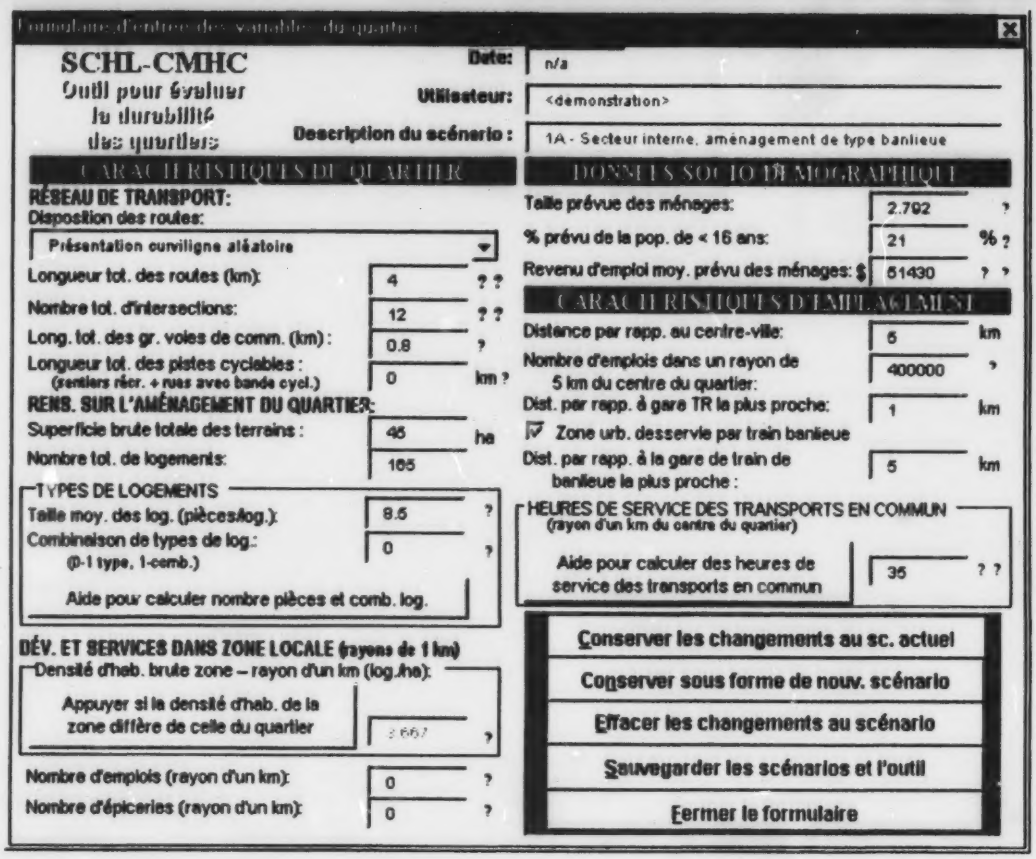
- un formulaire d'**entrée des variables** (illustrée à la pièce 26), dans lequel l'utilisateur entre les variables du quartier, y compris les caractéristiques du quartier et les données sur l'emplacement et les caractéristiques socio-économiques.

- Une feuille de travail des **résultats du modèle**, qui résume les détails du scénario, les paramètres et les résultats du modèle ainsi que les émissions annuelles de GES par auto et par transport en commun pour un ménage moyen dans le quartier.

Les émissions moyennes annuelles de GES par ménage sont également présentées sous forme graphique, dans un petit tableau.

L'annexe A comprend d'autres instructions sur l'utilisation de l'outil.

Piece 26
Formulaire d entree des variables de quartier



# 5. ÉLABORATION DE SCÉNARIOS À CONTEXTE DE QUARTIER ET URBAIN

La présente section décrit trois types de scénarios de quartier et trois types de scénarios axés sur le contexte urbain, évalués selon les résultats des émissions obtenus par le modèle. En évaluant la consommation énergétique et les émissions de chaque type de quartier tout en maintenant l'emplacement constant, il est possible de se renseigner sur les répercussions des différentes conceptions de quartier. En variant le contexte d'emplacement, on peut également voir les répercussions sur les émissions de GES.

La pièce 27 résume les statistiques propres à chaque scénario. On trouvera ci-après une description des scénarios individuels de quartier.

Pièce 27
Résumé des statistiques pour les scénarios proposés de quartier et de contexte urbain

| | | Moyenne pour la région | A. Secteur interne | | | B. Banlieues internes | | | C. Banlieues extérieures | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Variables indépendantes | | étudiée | 1A | 2A | 3A | 1B | 2B | 3B | 1C | 2C | 3C |
| **VARIABLES SOCIO-ÉCONOMIQUES** | | | | | | | | | | | |
| Taille moy. des ménages (personnes/ménage) | | 2,792 | 2,792 | 2,792 | 2,792 | 2,792 | 2,792 | 2,792 | 2,792 | 2,792 | 2,792 |
| % de la population de moins de 16 ans | | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % | 21,0 % |
| N= moy. d'adultes par ménage | | 2,206 | 2,206 | 2,206 | 2,206 | 2,206 | 2,206 | 2,206 | 2,206 | 2,206 | 2,206 |
| Revenu d'emploi moyen | | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ | 34 290 $ |
| Revenu d'emploi moyen du ménage | | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ | 51 430 $ |
| **CARACTÉRISTIQUES DU QUARTIER** | | | | | | | | | | | |
| Type de disposition des routes | | | Curviligne aléatoire | Grille + curviligne | Grille rectang. | Curviligne aléatoire | Grille + curviligne | Grille rectang. | Curviligne aléatoire | Grille + curviligne | Grille rectang. |
| Intersections par km de route | | | 3,0 | 5,0 | 5,2 | 3,0 | 5,0 | 5,2 | 3,0 | 5,0 | 5,2 |
| Pistes cyclables | | | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,5 |
| Grandes voies de communication | | | 0,8 | 0,4 | 0,0 | 0,8 | 0,4 | 0,0 | 0,8 | 0,4 | 0,0 |
| Superficie totale des terrains (ha) | | | 45 | 41,5 | 32,2 | 45 | 41,5 | 32,2 | 45 | 41,5 | 32,2 |
| Résidentiels | | | 32 | 32 | 20 | 32 | 32 | 20 | 32 | 32 | 20 |
| Emploi | | | 0 | 2,3 | 2,7 | 0 | 2,3 | 2,7 | 0 | 2,3 | 2,7 |
| Install. communautaires | | | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Magasins de détail | | | 0 | 0 | 1,1 | 0 | 0 | 1,1 | 0 | 0 | 1,1 |
| Parcs | | | 13 | 7,2 | 6,4 | 13 | 7,2 | 6,4 | 13 | 7,2 | 6,4 |
| N= total de logements | | | 165 | 900 | 1400 | 165 | 900 | 1400 | 165 | 900 | 1400 |
| Profil des types struct. de logements N= | MOY. DE | | | | | | | | | | |
| (% du nombre total de log.) | PIÈCES | | | | | | | | | | |
| M. individuelles isolées | 8,5 | 54,7 % | 100 % | 33 % | 6 % | 100 % | 33 % | 6 % | 100 % | 33 % | 6 % |
| M. jumelées | 7 | 19,2 % | 0 % | 13 % | 16 % | 0 % | 13 % | 16 % | 0 % | 13 % | 16 % |
| M. en rangée/en bande | 6 | 9,3 % | 0 % | 13 % | 21 % | 0 % | 13 % | 21 % | 0 % | 13 % | 21 % |
| Imm. d'app. de faible hauteur | 5 | 7,6 % | 0 % | 20 % | 18 % | 0 % | 20 % | 18 % | 0 % | 20 % | 18 % |
| Imm. d'app. de grande hauteur | 3,5 | 9,2 % | 0 % | 20 % | 39 % | 0 % | 20 % | 39 % | 0 % | 20 % | 39 % |
| Combinaison de types de logements | | 0,514 | - | 0,961 | 0,915 | - | 0,961 | 0,915 | - | 0,961 | 0,915 |
| Taille moy. des logements (n= de pièces) | | 6,44 | 8,5 | 6,3 | 5,2 | 8,5 | 6,3 | 5,2 | 8,5 | 6,3 | 5,2 |
| Densité d'habitation (logements/ha) | | 14,81 | 3,667 | 21,687 | 43,478 | 3,667 | 21,687 | 43,478 | 3,667 | 21,687 | 43,478 |
| Emploi (quartier) | | - | 0 | 250 | 750 | 0 | 250 | 750 | 0 | 250 | 750 |
| Emploi (r d'un km, basé sur valeurs ci-dessus) | | 7 157 | 0 | 1 893 | 7 317 | 0 | 1 893 | 7 317 | 0 | 1 893 | 7 317 |
| Combinaison d'utilisations des terrains | | 0,8448 | - | 0,6253 | 0,8315 | - | 0,6253 | 0,8315 | - | 0,6253 | 0,8315 |
| Indice des magasins (épiceries ds r d'un km) | | 4,034 | 0 | 3 | 15 | 0 | 3 | 15 | 0 | 3 | 15 |
| **CARACTÉRISTIQUES LIÉES À L'EMPLACEMENT** | | | | | | | | | | | |
| Dist. par rapport au centre-ville (km) | | 22,07 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 30 | 30 | 30 |
| N= d'emplois ds r de 5 km (milliers) | | 113,3 | 400 | 400 | 400 | 120 | 120 | 120 | 60 | 60 | 60 |
| Dist. par rapport à la gare de TR la plus proche | | 11,72 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 10 | 10 | 10 |
| Dist. par rapport à la gare GO la plus proche | | 4,12 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 2 | 2 |
| Heures de service des tr. en commun de r d'un km | | 20,20 | 35 | 45 | 50 | 25 | 30 | 35 | 5 | 10 | 15 |
| **INDICATEURS DE RENDEMENT** | | | | | | | | | | | |
| N= moy. de véh./ménage | | 1,46 | 1,52 | 1,14 | 0,98 | 1,63 | 1,27 | 1,12 | 1,80 | 1,44 | 1,29 |
| Moy. des VKD en auto en semaine/ménage* | | 74,7 | 58,5 | 36,4 | 28,5 | 73,2 | 51,6 | 43,7 | 100,6 | 79,0 | 71,1 |
| Moy. des PKD en tr. en commun en semaine/ménage | | 13,0 | 19,3 | 18,2 | 17,4 | 17,2 | 15,5 | 14,7 | 17,1 | 15,4 | 14,7 |
| Émissions annuelles moy. de GES par ménage (équivalent de kg de $CO_2$) | | 8 800 | 7 000 | 4 500 | 3 500 | 8 700 | 6 100 | 5 200 | 11 800 | 9 300 | 8 400 |

* ajustement pour sous-déclaration de déplacements dans la TTS

**LÉGENDE :**
Quartier 1 : Aménagement conventionnel de type banlieue
Quartier 2 : Lotissement de densité moyenne
Quartier 3 : Lotissement néo-traditionnel

## Scénarios à contexte de quartier

Voici une description de trois quartiers susceptibles d'atteindre cet objectif.

### Aménagement conventionnel de type banlieue (type de quartier 1)

Ce concept de quartier a été élaboré pour refléter les caractéristiques des aménagements modernes de banlieue. Il s'agit souvent de lotissements résidentiels de faible densité, d'usage unique, avec des dispositions de rues comprenant des courbes et des culs-de-sac aboutissant à de grandes artères de circulation orientées vers les automobiles.

La pièce 28 illustre les types généraux d'habitations qui y seraient construits. La pièce 29 fournit un diagramme schématique de lotissement de banlieue typique à faible densité, correspondant aux statistiques du scénario de quartier 1. Le scénario de quartier conceptuel a été créé à partir d'un plan d'emplacement réel pour un lotissement, récemment établi dans la région de York, au nord de Toronto.

Piece 28
Types de logements caracteristiques des quartiers de type 1

Voici les principales caractéristiques de la conception de ce quartier[12] :

- lotissement à usage unique sans emploi ni commodités commerciales sur place;
- grands terrains, généralement plus larges que 25 mètres, entraînant une faible densité globale brute (3,6 unités par hectare);
- des rues discontinues sans rues continues traversant l'emplacement, et absence complète de ruptures entre les terrains pour les piétons (Note: la distance à pied, entre le cul-de-sac du coin inférieur gauche de l'emplacement et la seule artère proche en haut de l'emplacement, est d'environ 600 mètres, bien au-delà du maximum de 400 mètres que la plupart des utilisateurs des transports en commun sont disposés à franchir pour se rendre à un arrêt d'autobus);
- une large coupe de route à deux voies (largeur de chaussée de 9,5 mètres) permettant le stationnement des deux côtés de la rue; et
- orientation des maisons vers l'intérieur (p. ex., l'arrière des maisons ferait face à l'artère de circulation).

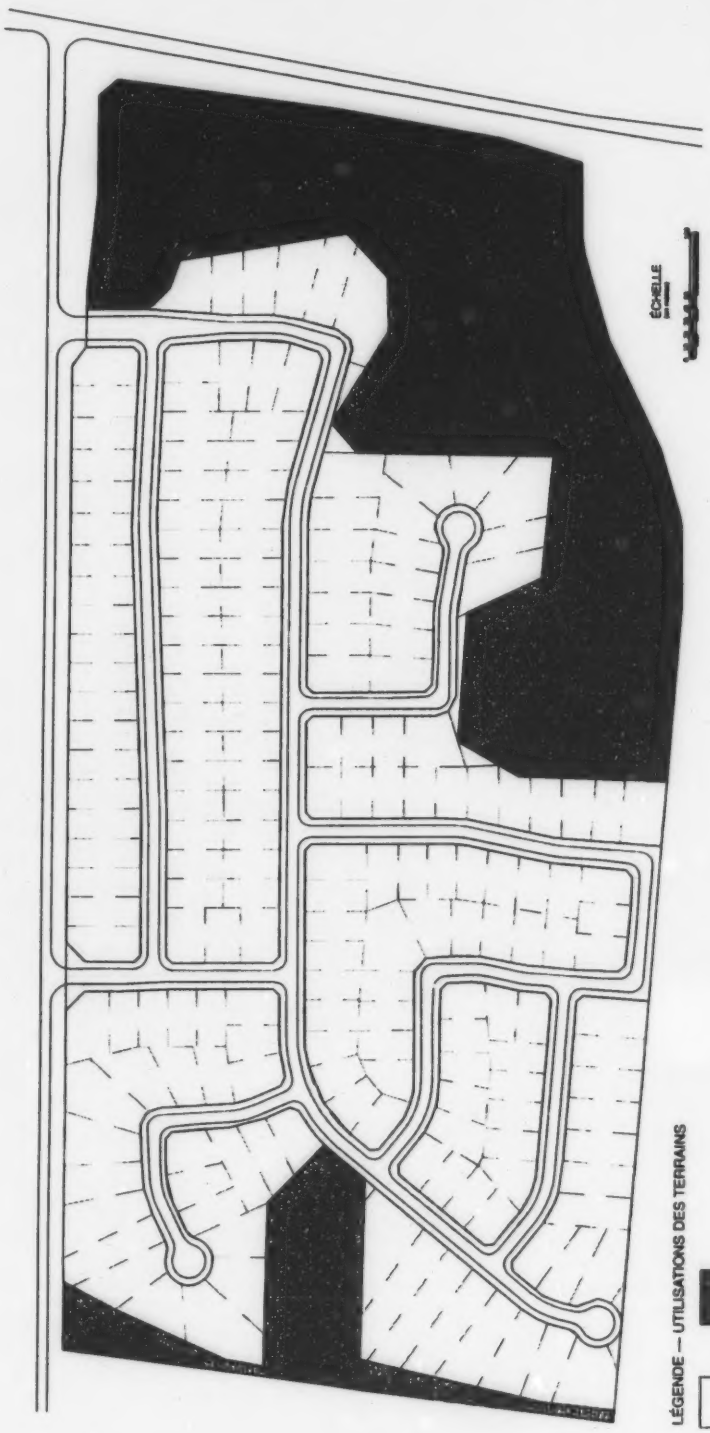
### Lotissement de densité moyenne (type de quartier 2)

Ce concept de quartier reflète un équilibre entre le lotissement moderne de banlieue et le lotissement plus traditionnel d'usage mixte, à haute densité, qui se trouve dans les quartiers néo-traditionnels. Tel qu'indiqué à la pièce 27, ce quartier aurait un plus grand nombre de personnes que d'emplois, mais présenterait d'importantes occasions d'autonomie sur le plan de l'emploi local. Sa densité résidentielle serait d'environ 21 unités de logement par hectare.

La pièce 30 illustre les typologies typiques des logements, tandis que la pièce 31 montre une représentation graphique du type de quartier 2. Voici quelques-unes des principales caractéristiques de conception de ce quartier:

- un mélange de maisons individuelles, de maisons basses en bande et d'immeubles résidentiels de hauteur moyenne (moins de six étages);
- des terrains de dimensions moyennes dont la largeur oscille entre 10 et 15 mètres;
- surtout des rues curvilignes, mais avec une certaine continuité et connectivité pour les

Pièce 29
Quartier 1 — Aménagement conventionnel de type banlieue



Piece 30
Types de logements caracteristiques des quartiers de type 2

véhicules de transport en commun et les piétons;
- surtout des rues orientées vers les automobiles avec certaines caractéristiques pour piétons comme des boulevards et des trottoirs;
- un stationnement résidentiel illimité sur place, mais un stationnement limité sur les principales routes;
- certains emplois sur place; et
- un petit nombre de détaillants auxiliaires (p. ex., dépanneurs et petits marchés).

**Lotissement néo-traditionnel (type de quartier 3)**

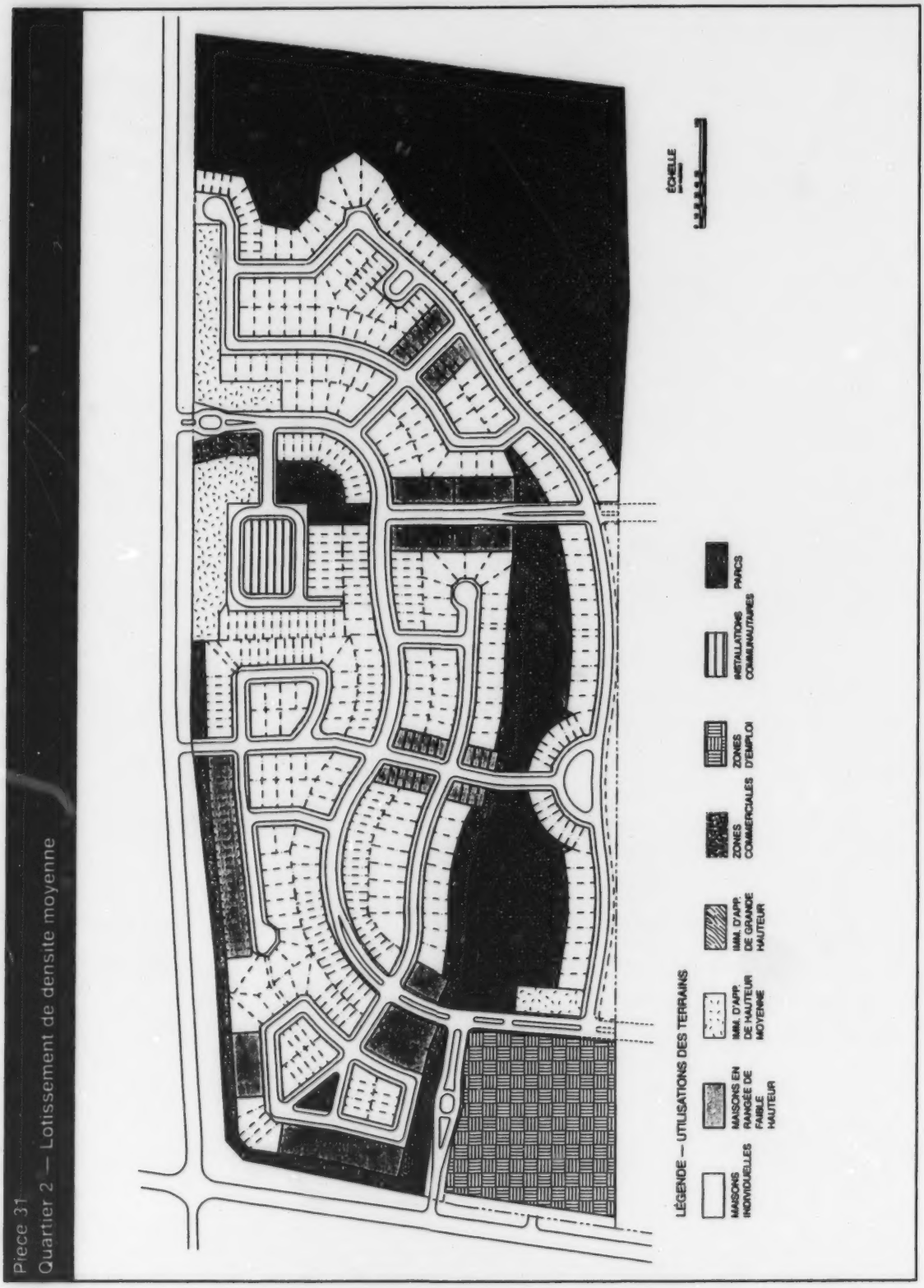
On a tenté très souvent de définir le « lotissement néo-traditionnel », mais, généralement toutes ces définitions englobent les principes suivants:

- un retour au système de circulation à grille, ou au moins l'apport de connexions plus directes entre deux points quelconques de la localité;
- un retour vers des localités « plus conviviales » pour les piétons et les cyclistes, et moins dominées par l'appétit de l'automobile pour l'espace et la vitesse; et
- une augmentation de la viabilité du transport en commun, comme solution de rechange à l'automobile privée (Bookout, 1992).

Dans les scénarios comprenant le type de quartier 3, on a tenté par tous les moyens d'attribuer à chaque variable des valeurs reflétant la planification néo-traditionnelle, mais aussi le développement urbain à forte densité. Contrairement aux types de quartier 1 et 2, il y a une plus grande densité à la fois dans les emplois et les habitants, ce qui augmente l'équilibre entre les emplois et les travailleurs. La densité résidentielle globale du quartier de type 3 est de 43 unités par hectare. Cette densité ne se trouve normalement qu'au centre des grandes villes.

La pièce 33 représente un plan d'emplacement pour le type de quartier 3. Ce plan global provient du plan d'emplacement établi pour le champ de course Greenwood, actuellement en cours de construction sur les plages de Toronto. Certaines modifications au plan réel ont été faites pour notre étude, c'est-à-dire, l'addition de tours d'habitation ainsi que de secteurs d'emploi. En général, la disposition globale des routes et des bâtiments a été conservée. Voici les principales caractéristiques du quartier:

Piece 32
Types de logements caracteristiques des quartiers de type 3


Piece 31
Quartier 2 — Lotissement de densite moyenne
ÉCHELLE
LÉGENDE — UTILISATIONS DES TERRAINS
MAISONS INDIVIDUELLES
MAISONS EN RANGÉE DE FAIBLE HAUTEUR
IMM. D'APP. DE HAUTEUR MOYENNE
IMM. D'APP. DE GRANDE HAUTEUR
ZONES COMMERCIALES
ZONES D'EMPLOI
INSTALLATIONS COMMUNAUTAIRES
PARCS

- un mélange de typologies de logements, y compris des immeubles d'appartements et des logements très rapprochés;
- des terrains étroits et très rapprochés, de préférence avec une ruelle donnant accès à un stationnement arrière pour les maisons jumelées;
- un réseau de rues très rapprochées en grille avec pleine accessibilité aux artères adjacentes;
- des rues étroites avec de larges trottoirs et « orientées vers les piétons »; et
- de l'emploi sur place et des usages auxiliaires. Les usages non résidentiels comprennent une épicerie, des détaillants (idéalement au niveau de la rue et en dessous des tours d'habitation), une école et une aire désignée pour l'emploi (idéalement, des bureaux ou d'autres formes d'emplois conformes aux caractéristiques d'emploi des personnes demeurant à proximité).

## Scénarios à contexte urbain

Les scénarios à contexte urbain sont définis largement pour permettre une comparaison entre chaque concept de quartier dans des milieux urbains différents. Jusqu'à présent dans notre rapport, ces scénarios ont été définis selon des districts de planification, tel qu'indiqué précédemment à la pièce 1, surtout pour illustrer l'analyse empirique et en discuter. Avec la structure du modèle élaboré pour notre étude, il est possible de définir les scénarios à contexte urbain au moyen de quatre principales variables d'emplacement:

- la distance par rapport au centre-ville;
- le nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres;
- la distance par rapport à la gare la plus proche de transport rapide; et
- la distance par rapport à la gare la plus proche de transport régional (p. ex., GO Transit).

En plus de ces facteurs, les heures de service des véhicules locaux de transport en commun fluctuent selon le contexte urbain, car cette variable est une fonction à la fois du contexte urbain et de la conception de quartier. Elle prend des valeurs reflétant des quartiers semblables dans la RGT.

Voici une description de trois scénarios axés sur le contexte urbain:

**Secteur interne (emplacement A)**

Tel qu'indiqué dans la pièce 27, le scénario du secteur interne se caractérise comme étant situé à environ cinq kilomètres du centre-ville et à environ un kilomètre de la gare de transport rapide la plus rapprochée. Au centre-ville, il n'y a pas de station GO Transit (à l'exception de Union Station), de sorte que cette variable a reçu une valeur relativement élevée (cinq kilomètres). La plupart des quartiers dans le secteur central sont près des principales zones d'emploi et, par conséquent, on a attribué au scénario du secteur central une valeur élevée pour le nombre d'emplois situés dans un rayon de cinq kilomètres.

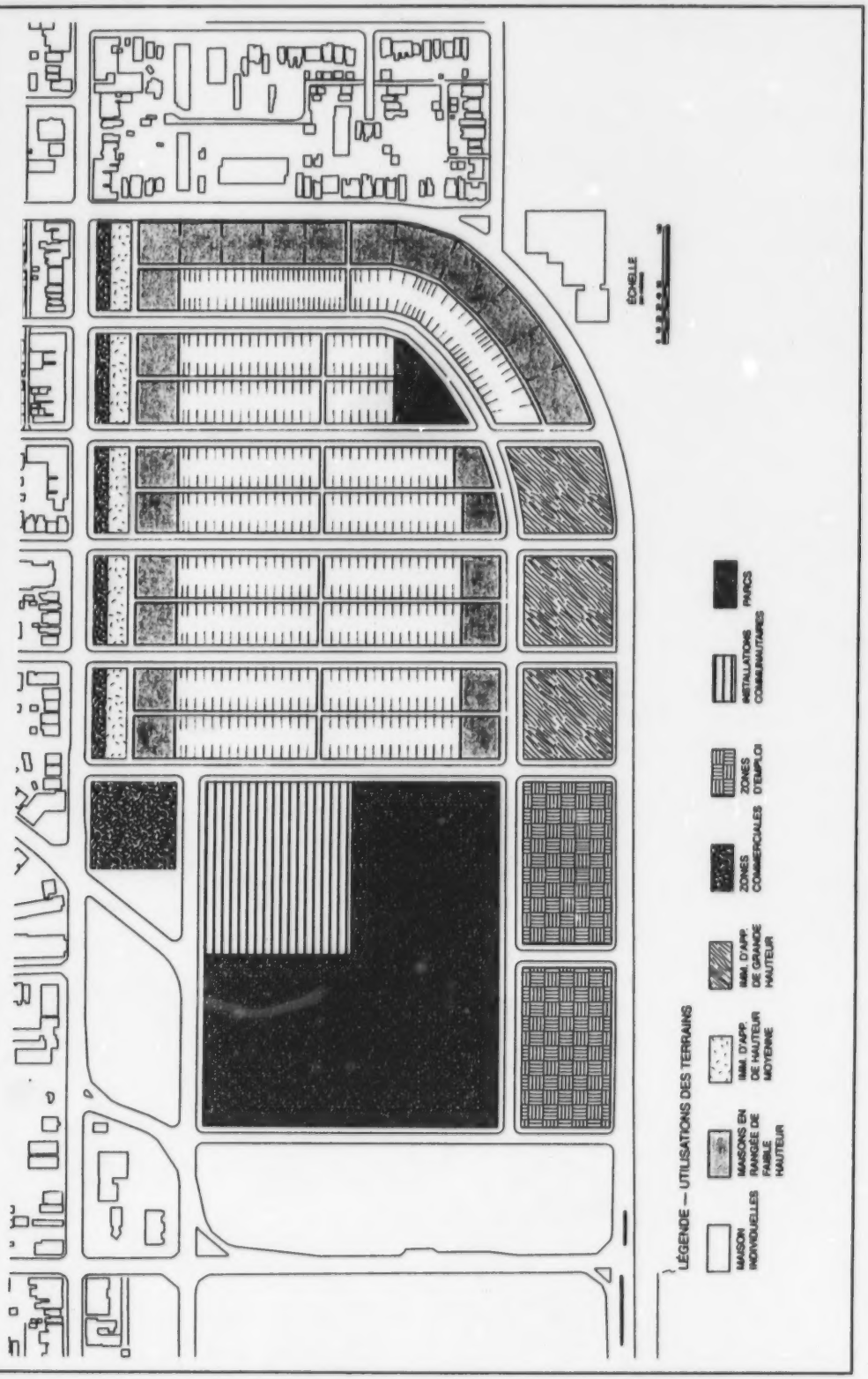
**Banlieues internes (emplacement B)**

Le scénario axé sur les banlieues internes était généralement destiné à représenter les secteurs de la ville de Toronto, mais à l'extérieur du secteur central. En moyenne, les banlieues internes sont situées à une dizaine de kilomètres du centre-ville. Les quartiers situés dans les banlieues internes sont souvent à une distance raisonnable à pied ou à une courte distance en auto d'une station de métro ou d'une station ferroviaire GO Transit, ce qui se reflète dans les distances attribuées à ces variables. En comparaison avec le secteur central, il y aurait peu d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres.

**Banlieues extérieures (emplacement C)**

La définition des banlieues extérieures comprend des secteurs situés dans les régions de Durham, de York, de Peel et d'Halton. Ces secteurs sont situés au moins à 15 kilomètres du centre-ville en ligne droite. Les régions typiques des banlieues extérieures (par exemple Brampton et Markham) sont situées à au moins 25 kilomètres du

Piece 33
Quartier 3 — Lotissement neo-traditionnel



centre-ville. On a adopté une valeur de 30 kilomètres par rapport au centre-ville pour le scénario C à contexte urbain. Bon nombre de quartiers des banlieues extérieures sont desservis par le chemin de fer GO Transit. Par conséquent, nous avons attribué une faible valeur à la variable dénotant la distance par rapport à la station GO Transit.

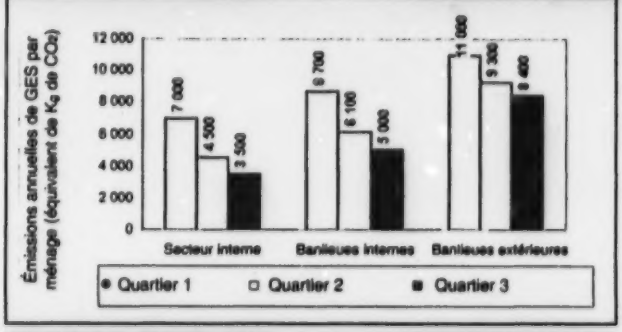
## Évaluation de scénarios

La pièce 34 illustre les émissions annuelles de GES correspondant à neuf différents quartiers, selon les prévisions du modèle. Ce graphique montre nettement que le contexte urbain et le contexte de la conception de quartier ont un effet important sur les émissions de $CO_2$ provoquées par les déplacements.

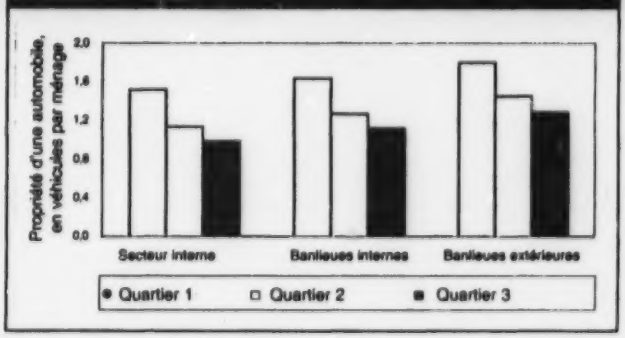
Il est utile de noter que l'emplacement du quartier a un effet plus marqué sur les variables que sa conception. Le changement du contexte de quartier, des banlieues extérieures au secteur interne, a pour effet de diminuer les émissions de GES de 36 à 60 % pour les trois scénarios de quartier. Mais l'impact sur les émissions de GES est moins manifeste lorsque l'emplacement demeure constant et que l'on modifie les caractéristiques de conception du quartier. Cela produit des réductions des GES de 24 à 50 %. Les ménages vivant dans des quartiers de conception néo-traditionnelle situés dans les banlieues extérieures produisent des émissions annuelles de GES provenant des déplacements supérieures de 20% à celles des ménages dans des quartiers ayant une conception de type banlieue à usage unique situés dans le secteur interne de la ville.

C'est sur le plan de la propriété des véhicules que les variables de quartier jouent le plus grand rôle. La pièce 35 illustre les niveaux de propriété de véhicule correspondant aux différents scénarios. Ici, la variation dans les niveaux de propriété de véhicules porte moins sur différents contextes urbains que sur les différentes conceptions à quartier. En maintenant les variables d'emplacement au même niveau et en créant moins de quartiers durables, on augmente la propriété des véhicules de 30 à 35 %, tandis qu'en changeant le contexte de quartier à partir du secteur intérieur jusqu'aux banlieues extérieures, on l'augmente d'environ 15 à 25 % pour ces quartiers visés par le test.

Pièce 34
Évaluation des scénarios de quartiers : Émissions annuelles de GES attribuables aux déplacements par ménage




Pièce 35
Évaluation des scénarios de quartiers : Propriété d'une automobile par ménage



# 6. CONCLUSIONS

## Principaux résultats

La présente étude a donné lieu à l'élaboration d'un modèle à régression multivariée et d'un chiffrier électronique pour évaluer les émissions de GES provenant du transport urbain. Plus particulièrement, elle fait la distinction entre diverses conceptions de quartier, sur le plan de leur propension à produire des émissions de GES à partir des déplacements personnels, lorsqu'ils sont situés à des distances différentes par rapport au centre-ville.

Le modèle est constitué de trois sous-modèles évaluant la propriété d'un véhicule, les déplacements en auto et par transport en commun, respectivement, pour un ménage moyen dans le quartier. La propriété d'une auto et les modèles de véhicules-kilomètres en auto avaient un pouvoir prédictif impressionnant avec des valeurs $R^2$ de 0,88 et de 0,84, respectivement. Ces valeurs $R^2$ élevées indiquent que les variables choisies pour ces modèles représentent la plus grande partie de l'influence sur l'utilisation et la propriété d'automobiles. Le modèle des passagers-kilomètres des déplacements en transport en commun était moins robuste et avait une valeur $R^2$ modérée de 0,35.

Le processus du modèle de lotissement a montré que, bien que certaines variables fussent de solides prédicteurs pour un sous-modèle, elles n'étaient pas statistiquement significatives pour d'autres sous-modèles. Par exemple, certains aspects de l'emplacement d'un quartier, de la conception ou des éléments socio-économiques, n'influent qu'indirectement sur les émissions de GES, en modifiant la propriété de véhicule, qui s'est révélée une variable clé influençant les émissions de GES provenant à la fois des autos et du transport en commun.

Les caractéristiques de trois conceptions hypothétiques de quartier, avec trois différents contextes urbains (secteur intérieur, banlieues intérieures et extérieures) ont été testées au moyen du chiffrier électronique. Parmi les neuf scénarios testés, le quartier situé dans le secteur urbain interne et présentant la conception la plus compacte, d'usage mixte et orientée vers les piétons, avait le plus faible taux d'émissions des GES (équivalent de 3 500 kilogrammes de $CO_2$ annuellement par ménage). Le quartier situé dans les banlieues externes et ayant la conception la plus conventionnelle de banlieue affichait le taux le plus élevé d'émissions de GES (équivalent de 11 000 kilogrammes de $CO_2$ annuellement par ménage).

On a découvert que, même si la conception des quartiers influençait les décisions en matière de déplacement, les changements apportés aux variables de conception de quartier n'auraient pas autant d'effet que ceux apportés aux facteurs d'emplacement ou à la composition socio-économique du quartier.

Cela suggère que la structure urbaine « macro » est plus importante que la conception de quartier « mico » pour réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant des automobiles et du transport en commun, par résidants de quartier. Autrement dit, la construction intercalaire pour accroître la population résidante dans les secteurs internes et les banlieues internes est plus efficace que les nouveaux lotissements en zones non bâties pour ralentir la croissance des émissions de GES, même si les nouveaux lotissements sont néo-traditionnels plutôt que de conception de banlieue typique. Cependant, la conception du quartier est également un important déterminant pour ce qui est des émissions de GES.Les modèles de chiffriers produits par notre étude constituent un outil utile pour les planificateurs et les promoteurs, afin d'évaluer les conséquences des émissions de GES à la fois sur la conception du quartier et sur les grandes considérations en matière de structure urbaine, pour ce qui est de l'opposition entre les constructions intercalaires et les nouveaux lotissements.

Les utilisateurs du modèle doivent tenir compte du fait que le modèle de régression utilisé par le chiffrier a été élaboré à partir des données pour la région métropolitaine de recensement de Toronto et qu'il n'a pas été testé ou validé pour d'autres villes canadiennes. Le chiffrier est capable d'établir les différences relatives de deux quartiers ou plus dans n'importe quelle grande région métropolitaine. L'estimation absolue des émissions de GES pourrait ne pas être exacte.

## Recommandations en vue de recherches plus approfondies

En menant notre étude, nous avons reçu un certain nombre de suggestions pour travailler davantage à modéliser les émissions de GES à partir des déplacements basés sur les attributs de quartier.

D'abord, on peut établir un modèle plus robuste de transport en commun en modélisant séparément divers services de transport en commun, en modélisant l'usage du transport en commun simplement comme pourcentage des déplacements totaux, ou en choisissant une autre forme de modèle que l'équation à régression. Étant donné que le transport en commun est utilisé différemment par différentes personnes (p. ex., les jeunes et les personnes âgées l'utilisent davantage que les membres d'autres cohortes d'âge), le modèle de transport en commun bénéficierait d'une prédiction des déplacements en transport en commun à un niveau plus désagrégé.

En second lieu, d'autres variables de conception de quartier (p. ex., stationnement, ralentissement de la circulation, paysages de rue) pourraient avoir d'importantes répercussions sur le comportement des ménages à propos des déplacements. Bon nombre de ces variables sont difficiles à quantifier, ou l'envergure de notre étude était insuffisante pour assembler des données détaillées sur ces variables. Des enquêtes plus approfondies pourraient fort bien porter sur la quantification et la mesure des répercussions de ces variables.

Troisièmement, une analyse plus approfondie des facteurs d'émissions pour les différents types de déplacements, ainsi que des facteurs d'expansion des données en semaine aux données annuelles pourrait être utile pour évaluer plus précisément la durabilité d'un quartier sur le plan des émissions de gaz.

# NOTES EN FIN DE TEXTE

1 Un mot d'avertissement au sujet de l'usage des données sur les déplacements du TTS. L'ensemble de données se base sur les déplacements signalés par les ménages interviewés pendant l'étude. Étant donné que la personne interviewée ne connaît pas forcément tous les déplacements effectués par les autres membres du ménage, il existe un biais de sous-déclaration, qui devient plus problématique lorsqu'il s'agit de déclarer des déplacements discrétionnaires (c'est-à-dire, autres que pour le travail et l'école), souvent effectués en dehors des heures de pointe. Les analyses décrites aux chapitres 3 et 4 se basent sur les déplacements déclarés. Les facteurs de correction pour atténuer ce biais sont introduits au chapitre 4 et incorporés dans le reste du rapport ainsi qu'au chiffrier électronique.

2 Notre rapport mentionne fréquemment les valeurs $R^2$. Il s'agit d'une mesure statistique de la qualité de l'ajustement, oscillant entre 0 lorsqu'il ne semble y avoir aucune relation quelconque entre les variables dépendantes et indépendantes décrites par la formule fonctionnelle, comme une ligne droite, et 1, lorsque la relation entre les variables est parfaitement expliquée.

3 Il faut noter que cela ne comprend qu'un revenu provenant directement d'un emploi, et exclut celui qui est produit par des paiements du gouvernement, des investissements, un héritage, etc.

4 Le centre-ville est généralement défini comme le secteur limité par l'avenue University et les rues Dundas, Jarvis et Front. Il occupe une surface de 1,2 $km^2$.

5 Les épiceries énumérées dans les pages jaunes ne comprennent pas généralement les dépanneurs, mais bel et bien un grand nombre de « magasins du coin ».

6 La relation entre la distance par rapport au centre-ville et l'accessibilité d'emploi dans un rayon de cinq kilomètres pour ce qui est de la prévision des VKD en auto est frappante. Elle sous-entend qu'une des raisons pour lesquelles la distance par rapport au centre-ville est une variable aussi forte est que les ménages sont attirés par le nombre élevé d'emplois dans ce secteur. Toutefois, à mesure qu'augmente le nombre d'emplois aux abords du quartier d'habitation, on constate une réduction de la probabilité que les habitants du ménage devront se déplacer vers le centre-ville. Néanmoins, le fait que cette distance demeure une forte variable, même alliée à l'accessibilité à un emploi dans un rayon de cinq kilomètres sous forme de variable, montre que le centre-ville continue à attirer des déplacements à partir du quartier d'habitation. Le secteur situé dans un rayon de cinq kilomètres du centre-ville contient environ 500 000 emplois, soit un cinquième de ceux de la RGT.

7 Cela montre que le comportement en déplacement est différent dans les secteurs à grille rurale, en partie à cause de la diminution de la connectivité entre le réseau routier et le nombre d'intersections par route-kilomètre. Toutefois, le fait que la variable demeure forte montre qu'il s'agit aussi d'une approximation relative à d'autres éléments de la vie rurale qui se prêtent à un plus grand nombre de déplacements en automobile (p. ex., plus grand isolement, plus longue distance à parcourir, absence de transport en commun).

8 À mesure qu'augmente le service de transport en commun, le nombre d'autos possédées diminue, ce qui, par conséquent, exerce bel et bien une influence sur les VKD en auto, quoique dans une moindre mesure. Cette conclusion sous-entend que les personnes sont

plus réticentes à utiliser d'autres moyens de transport lorsqu'elles ont déjà un véhicule personnel, mais qu'elles sont moins susceptibles de posséder une auto si un meilleur service de transport en commun est disponible dans le secteur local.

9 Ces spécifications de modèle se basent sur la prédiction des valeurs des VKD en auto qui coïncident avec des valeurs des VKD quotidiennes dans l'ensemble de données, basées sur les déplacements *déclarés*, que l'on sait être sous-estimés. Pour compenser ce fait, le chiffier électronique comprend un facteur de 1,47 pour les VKD en auto basé sur des comparaisons entre la circulation attribuée par le TTS et les niveaux réels de circulation à Toronto, pour le calcul des émissions de GES à partir des niveaux estimatifs des VKD produits par les modèles, tels que décrits plus loin.

10 Encore une fois, on note que ces coefficients se basent sur des valeurs prédites des PKD en transport en commun coïncidant avec les valeurs des PKD quotidiennes figurant à l'ensemble de données, basées sur des déplacements *déclarés*, que l'on sait être sous-estimés. Pour compenser ce fait, le chiffrier électronique comprend un facteur de 1,30 basé sur des comparaisons entre la circulation attribuée par le TTS et les niveaux réels de circulation à Toronto, pour calculer les émissions de GES à partir des niveaux estimatifs de PKD produits par les modèles, tels que décrits plus loin.

11 Voici les équations qui ont servi à estimer le pourcentage de déplacements selon les divers modes de transport :

% de déplacements par transport rapide = 0,6061 - 0,1525 * ln (distance par rapport à la gare de transport rapide la plus proche, en km) ($R^2$ = 70 %).

% de déplacements par transport GO = -0,00932 (distance par rapport à la gare GO la plus proche) + 0,00521 (distance par rapport au centre-ville, en km) ($R^2$ = 28 %).

% de déplacements par autobus = 100 % – % de déplacements par transport rapide – % de déplacements par transport GO Transit.

12 Seules les caractéristiques quantifiables (p. ex., densité, combinaison d'utilisations des terrains, disposition des rues) sont représentées dans le modèle.

# BIBLIOGRAPHIE


Bookout, L. *Neotraditional Town Planning, Cars, Pedestrians and Transit,* Urban Land, février 1992.

Environnement Canada. *Tendances des émissions de gaz à effet de serre au Canada, 1990-1995*, Ottawa, avril 1997, p. 6.

Hansen, M. *Do Highways Generate Traffic?*, University of California Transportation Center, automne 1995, n° 7, p. 16 à 22.

Hunt Analytics Inc. *Incidence de la forme urbaine et de l'accès aux moyens de transport sur les déplacements en véhicules privés*, Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, 1999.

IBI Group. *An assessment of Transportation Trends in the Greater Toronto Area*, ministère des Transports de l'Ontario, Toronto, 1997.

IBI Group en association avec A.K. Socio-Technical Consultants (Ottawa) Inc. OECD *Environmentally Sustainable Transportation (EST) Study—Québec-Windsor Corridor*, projet de rapport sur la phase 2, Environnement Canada, Ottawa, 1998.

Ministère des Transports, ministère des Affaires municipales de l'Ontario. *Transit-Supportive Land Use Planning Guidelines*, adapté de Spielberg, Frank, « The Traditional Neighbourhood Development: How Will Traffic Engineers Respond? », *ITE Journal*, septembre 1989.

Schimek, P. *Household Motor Vehicle Ownership and Use: How Much Does Residential Density Matter?*, Transportation Research Record, no 1552, 1996.

Shalaby, A. « Exploring Person Travel Trends in the Greater Toronto Area, Part 1: Changes in Travel-Related Factors and Implications for Travel Demand », document de recherche pour l'University of Toronto Joint Program and Transportation, IBI Group et le Conseil de recherche en sciences naturelles et en génie du Canada, 30 août 1998.

# *Annexe A :*

# *Guide de l'utilisateur du chiffrier*

## A.1 Introduction

Cette section décrit la façon d'utiliser le chiffrier pour estimer les émissions de gaz à effet de serre provenant des déplacements urbains par l'introduction de variables portant sur les quartiers. Étant donné la nature des comportements en matière de déplacements urbains et du vaste éventail de quartiers qu'on trouve dans une même région, les résultats obtenus au moyen de cet outil doivent être observés avec un certain degré de prudence. L'utilisateur doit aussi tenir compte du fait que le modèle de régression utilisé par cet outil a été élaboré à partir de données sur la région métropolitaine de recensement de Toronto et qu'il n'a pas été testé ou validé pour d'autres villes canadiennes. Les chercheurs qui y ont travaillé sont d'avis que l'outil peut établir les différences relatives entre deux quartiers ou plus dans n'importe quelle grande région métropolitaine, mais que les estimations absolues des émissions de gaz à effet de serre pourraient ne pas être exactes.

Le IBI Group reconnaît qu'un large éventail d'utilisateurs pourraient se servir de cet outil à plusieurs fins. Toutefois, le IBI Group n'assume aucune responsabilité concernant la manière dont les utilisateurs appliquent et utilisent les résultats de l'outil, puisque cela est indépendant de sa volonté. Il encourage les utilisateurs de l'outil à lire le rapport principal documentant la recherche entreprise avant d'interpréter les résultats du modèle.

## A.2 Ouverture du chiffrier

Le chiffrier est mémorisé sous forme d'un fichier, appelé « tool.xls », qui peut être ouvert comme n'importe quel autre chiffrier ordinaire dans Microsoft Excel 7.0.

L'outil utilise des macros sûres qui doivent être activées pour que l'outil fonctionne convenablement. Par défaut, Excel montre une fenêtre de dialogue indiquant aux utilisateurs que le fichier qu'ils ouvrent contient des macros et que certaines macros peuvent contenir des virus qui pourraient endommager leur ordinateur. Si cette fenêtre de dialogue est affichée au moment de l'ouverture du chiffrier, choisissez **Activer les macros**, ce qui permet aux fonctions intégrées de fonctionner. (Si l'utilisateur ne veut pas voir la fenêtre de dialogue, il peut désactiver le message guide en faisant apparaître le menu des Outils, puis en choisissant Options et le descripteur Général, et enfin, en enlevant le crochet de la case Protection anti-virus des macros.)

Une fois que vous aurez ouvert le chiffrier, un écran d'introduction, illustré dans la pièce A.1 ci-dessous, s'affiche. Le fait de cliquer sur le bouton de commande « OK » ferme cet écran, fait afficher le « Menu principal » du chiffrier et permet à l'utilisateur d'y accéder.

Pièce A.1
Formulaire d'introduction

## A.3 Feuille du menu principal

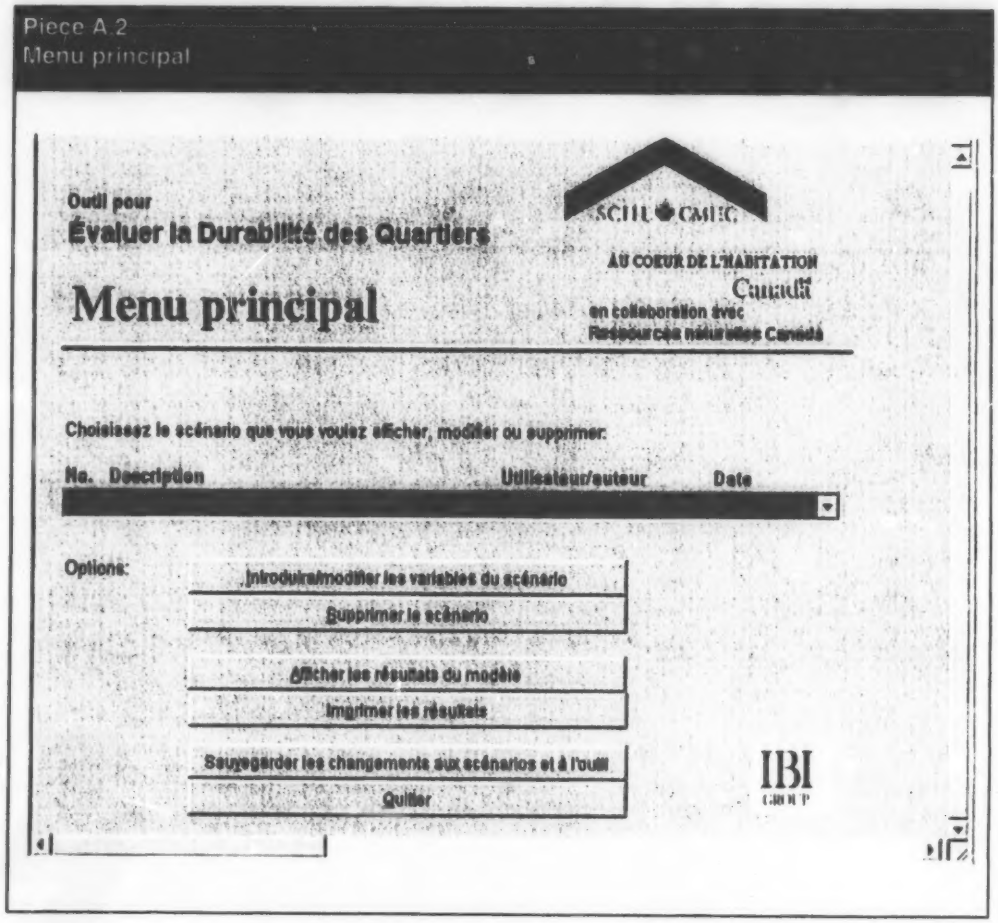
La pièce A.2 montre la feuille du Menu principal. On y trouve un gestionnaire de scénarios et six boutons de commande pour accéder à d'autres options de l'outil. On peut activer tous les boutons de commande soit en cliquant sur eux avec la souris ou en appuyant sur « Alt » et la touche d'accélération pour la commande, qui est la lettre soulignée de la légende du bouton.

### A.3.1 Gestionnaire de scénarios

Le chiffrier permet à l'utilisateur d'introduire des scénarios de quartier et d'évaluer leurs impacts sur les émissions de gaz à effet de serre. Le gestionnaire de scénarios permet de sauvegarder plusieurs scénarios de quartier dans l'outil. Le scénario 0 n'a aucune donnée pré-introduite sur les variables du quartier (c.-à-d. qu'il est vide). Les scénarios de quartier élaborés par l'utilisateur peuvent être comparés aux neuf scénarios de quartier pré-saisis du rapport principal, qui ont été sauvegardés à titre de scénarios de démonstration de l'outil. À l'exception de ces scénarios de démonstration, les scénarios de quartier peuvent également être modifiés ou supprimés. Théoriquement, le nombre maximal de scénarios pouvant être sauvegardés correspond au nombre de rangées sur la feuille de travail du chiffrier, soit 65 500.

La fenêtre à défilement par le bas sur la feuille du Menu principal permet à l'utilisateur de choisir un scénario existant, ou de commencer un nouveau scénario.

Pièce A.2
Menu principal



Les deux premiers boutons de commande sous la fenêtre de sélection d'un scénario sont les suivants :

- **Introduire/modifier les variables du scénario** — Ce bouton appelle un formulaire d'entrée qui permet à l'utilisateur d'introduire ou de modifier les valeurs des variables définissant le quartier.

- **Supprimer le scénario** — Ce bouton de commande supprime le scénario paraissant dans la fenêtre de sélection de scénario à défilement par le bas. Si le scénario figurant dans la fenêtre est un scénario de démonstration, le système affiche une boîte de message indiquant que le scénario ne peut pas être supprimé. Autrement, une boîte de message de vérification apparaît à l'écran pour demander à l'utilisateur s'il veut réellement supprimer le scénario actuel.

Vous trouverez d'autres options pour créer ou modifier des scénarios dans la section sur le formulaire d'entrée des variables du quartier, dont il est question à la section A.4.

### A.3.2 Autres boutons de commande

Les quatre autres boutons de commande sur le menu principal ont les fonctions suivantes :

- **Afficher les résultats du modèle** — En appuyant sur ce bouton de commande, on fait apparaître la feuille des résultats du modèle. C'est à cet écran qu'on peut voir les émissions annuelles estimatives de gaz à effet de serre par ménage. Une description plus complète de cette feuille est donnée dans la section A.5.

- **Imprimer les résultats** — Si l'utilisateur ne veut pas faire afficher les résultats du modèle avant d'en obtenir une sortie papier, il peut appuyer sur ce bouton pour faire imprimer les résultats directement.

- **Sauvegarder les changements aux scénarios et à l'outil** — Ce bouton permet de sauvegarder les changements apportés à l'outil, y compris la sélection du scénario et les nouveaux scénarios ou modifications des scénarios. Il faut sauvegarder le chiffrier pour conserver les changements ainsi apportés à l'outil.

- **Quitter** — Ce bouton permet à l'utilisateur de sortir du programme. Si des changements ont été apportés à l'outil depuis la dernière fois qu'il a été sauvegardé, une boîte de message apparaîtra pour demander si l'utilisateur veut sauvegarder les changements avant de sortir du modèle.

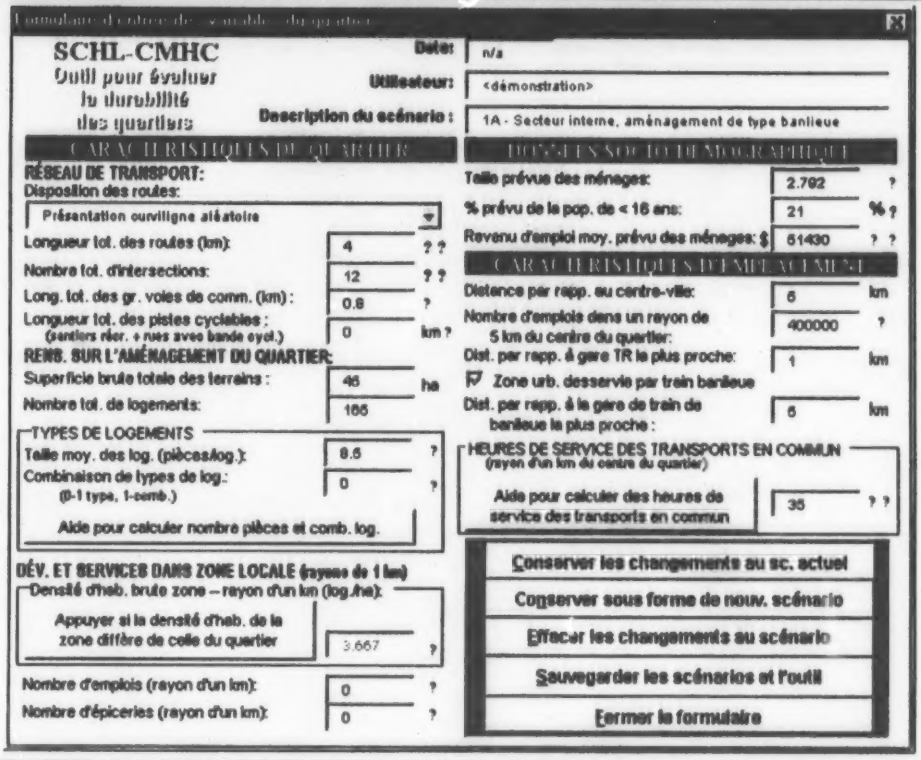
## A.4 Formulaire d'entrée des variables du quartier

Le formulaire d'entrée, auquel on accède en choisissant le premier bouton de commande sur le menu principal, est illustré à la pièce A.3. Cette formule sert à introduire les valeurs du concept de quartier et des variables socio-économiques et d'emplacement. On l'utilise aussi pour changer les valeurs des variables explicatives des scénarios existants de quartier ainsi que pour sauvegarder les scénarios et l'outil.

Ce formulaire comprend plusieurs zones de texte dans lesquelles l'utilisateur introduit les valeurs des variables explicatives qui définissent un quartier. On y trouve aussi des boutons de commande qui aident à calculer quelques-unes des variables et qui permettent d'activer d'autres fonctions. Elles sont décrites de façon détaillée ci-dessous.

Un point d'interrogation rouge à proximité d'une variable indique qu'il y a une remarque à l'intention de l'utilisateur concernant cette variable, comme les valeurs typiques pour cette variable dans la région du Grand Toronto ou des conseils sur la façon de calculer la variable. En plaçant le pointeur de la souris sur le point d'interrogation rouge, on active une boîte-éclair affichant le message d'aide.

Piece A.3
Formulaire d'entree des variables du quartier




Les variables précisées au moyen du formulaire d'entrée sont décrites ci-dessous :

*Description du scénario*

- **Date** — Dans le cas des nouveaux scénarios (créés à partir du scénario 0 ne contenant aucune valeur pré-saisie), la date du jour sera automatiquement indiquée dans cette boîte par le système qui les obtient du calendrier interne de l'ordinateur lorsque le formulaire est ouvert.

- **Nom d'utilisateur et description du scénario** — Ces boîtes visent à aider un utilisateur à s'y retrouver dans les scénarios de quartiers évalués.

*Caractéristiques du quartiers*

- **Disposition des routes** — Pour faire afficher tous les types de dispositions, appuyez sur le bouton gauche de la souris après avoir placé le curseur sur la flèche à droite de la boîte-éclair. Les sept types possibles de dispositions des routes sont les suivants :

  **1- Réseau strictement rectangulaire**, qui décrit les quartiers contenant exclusivement des réseaux en grille typiques des aménagements antérieurs aux années 1950;

  **2- Réseau industriel**, décrivant les zones ayant des routes assez largement espacées, traversant des secteurs essentiellement industriels;

**3- Réseau essentiellement rectangulaire**, comprenant des grilles avec certaines diagonales;

**4- Mélange de formes rectangulaires et curvilignes**, utilisé pour décrire les quartiers où il y a une prédominance de rues curvilignes mélangées avec un réseau en grille;

**5- Présentation curviligne régulière,** utilisée pour décrire les zones formées surtout de rues courbées avec au moins une certaine continuité entre les rues;

**6- Présentation curviligne aléatoire**, utilisée pour décrire les quartiers ayant l'aspect des aménagements antérieurs aux années 1970, comprenant une forte proportion de rues finissant en cul-de-sac et aboutissant sur de grandes voies de communication;

**7- Grille rurale**, décrivant les zones dans le secteur externe qui sont nettement moins aménagées et consistant en de grandes voies de communication, des chemins vicinaux et des routes rurales très dispersés.

- **Longueur totale (km) des routes** — Cela comprend toutes les routes sauf les routes express. Cela devrait comprendre toutes les routes dans le quartier et la moitié de la longueur des routes à la périphérie du quartier.

- **Nombre total d'intersections** — Il s'agit du nombre d'intersections reliant deux routes ou plus dans le quartier. Cela doit comprendre toutes les intersections dans le quartier et environ la moitié de celles qu'on trouve à la périphérie du quartier.

- **Longueur totale des grandes voies de communication** — Cela comprend toutes les routes, à l'exclusion des routes express, qui ont trois voies ou plus dans les deux sens. Cela doit comprendre toutes les grandes voies de communication dans le quartier et la moitié de la longueur de ces voies à la périphérie du quartier.

- **Longueur totale des pistes cyclables** — Cela comprend les rues ayant une voie cyclable, ainsi que les pistes cyclables hors rue et les sentiers récréatifs où le cyclisme est permis.

- **Superficie brute totale des terrains** — Il s'agit de la superficie totale des terrains du quartier, ce qui comprend les routes, les parcs, les utilisations résidentielles et les autres usages des terrains.

- **Nombre total de logements** — Nombre total de logements dans le quartier. Dans le cas des maisons en rangée, des maisons jumelées, des duplex et des appartements, inclure tous les logements dans l'immeuble.

- **Types de logements** — Cela comprend deux variables : la combinaison de types de logements dans le quartier, d'une part, et la taille moyenne des logements mesurée par le nombre de pièces, ce qui comprend toutes les pièces et non pas seulement les chambres à coucher. Consultez le chapitre 3 du rapport pour une description de la manière de calculer cette variable. L'outil calculera la combinaison des types de logements et le nombre moyen de pièces en utilisant le formulaire des types de logements auquel on peut accéder au moyen du bouton de commande « Aide pour calcul nbre de pièces et comb. log. ». Sur ce formulaire, l'utilisateur indique le pourcentage (de 0 à 100) du nombre total de logements qui font partie de l'un de cinq types de logements, ainsi que le nombre moyen de pièces pour ce type de logement. En cliquant sur le bouton « Annuler » de ce formulaire, on ferme le formulaire et on conserve les valeurs actuelles de la combinaison de logements et de la taille moyenne des logements. En cliquant sur le bouton « Terminé », on ferme le formulaire et les valeurs de ces deux variables sont automatiquement mises à jour. Par la suite, les valeurs correspondant à la

combinaison de types de logements et à la taille moyenne des logements sont automatiquement introduites pour vous.

- **Densité d'habitation brute de la zone** — Le modèle utilise la densité d'habitation dans un rayon d'un kilomètre du centre de gravité du quartier comme variable. La densité dans la zone locale peut différer de la densité du quartier. Pour plus de simplicité, l'outil utilise par défaut la même densité d'habitation que dans le quartier pour la zone. La valeur est calculée et affichée dans la boîte de densité d'habitation. Pour remplacer cette valeur par défaut et introduire une valeur différente pour la densité d'habitation dans un rayon d'un kilomètre (si elle diffère de celle du quartier), il faut appuyer sur le bouton « Appuyer si la densité d'hab. de la zone diffère de celle du quartier ». Cela permet à l'utilisateur d'accéder à la variable de densité d'habitation et de changer sa valeur manuellement à la densité de la zone locale (dans un rayon d'un kilomètre). Le fait d'appuyer de nouveau sur le bouton fait revenir la valeur à la valeur par défaut se fondant sur la densité d'habitation du quartier.

- **Nombre d'emplois (dans un rayon d'un kilomètre)** — Il s'agit du nombre total d'emplois de tous genres dans un rayon d'un kilomètre du centre du quartier.

- **Nombre d'épiceries (dans un rayon d'un kilomètre)** — Il s'agit du nombre d'épiceries et de magasins d'alimentation dans un rayon d'un kilomètre du centre du quartier, quelle que soit la taille du magasin. Le modèle inclut tous les magasins qui étaient énumérés dans les Pages Jaunes sous la rubrique Épiciers détaillants. Comme cette variable sert d'indice de l'accessibilité totale aux magasins, la variable fonctionne le mieux si les épiceries sont réparties de la même façon que les autres magasins de détail. Si les épiceries représentent une proportion élevée de l'ensemble des magasins de détail dans une zone, l'utilisateur pourra, s'il le désire, réduire la valeur de la variable en conséquence. Par ailleurs, s'il y a très peu d'épiceries dans la zone alors qu'il y a un grand nombre de magasins de détail, l'utilisateur pourra, s'il le désire, accroître légèrement la valeur de la variable.

*Données socio-démographiques*

- **Taille prévue des ménages** — Il s'agit du nombre moyen prévu de personnes habitant dans chaque logement du quartier.

- **Pourcentage prévu de la population de moins de 16 ans** — Ce nombre, inscrit sous forme de pourcentage (entre 0 et 100), indique quelle proportion de la population totale est composée de personnes de moins de 16 ans.

- **Revenu d'emploi moyen prévu des ménages** — Le modèle a été élaboré en fonction du revenu d'emploi moyen du ménage, qui peut être inférieur de jusqu'à 20 % au revenu total d'un ménage. Le modèle utilise aussi le revenu d'emploi moyen des travailleurs individuels, qui sert de variable explicative. Pour simplifier le modèle, l'utilisateur n'introduit que le revenu moyen du ménage. Une estimation raisonnable du revenu d'emploi individuel est ensuite calculée par le chiffrier qui divise le revenu d'emploi du ménage par 1,5, valeur qui correspond au nombre moyen de travailleurs par ménage dans la RMR de Toronto.

*Caractéristiques d'emplacement*

- **Distance par rapport au centre-ville** — Il s'agit de la distance, en kilomètres, qui sépare le quartier du centre-ville. Pour l'élaboration du modèle, qui se fonde sur les données pour Toronto, nous avons utilisé l'angle des rues King et Bay à Toronto comme centre du centre-ville.

- **Nombre d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres du centre du quartier** — Il s'agit du nombre total d'emplois dans un rayon de cinq kilomètres du centre du quartier.

- **Distance par rapport à la gare de transport rapide la plus proche** — Distance par rapport à la gare de transport rapide (p. ex., stations de métro et transport urbain rapide), à l'exclusion des gares de trains de banlieue (p. ex., GO Transit dans la région du Grand Toronto).

- **Distance par rapport à la gare de train de banlieue la plus proche** — Distance en kilomètres jusqu'à la gare de train de banlieue la plus proche (p. ex., GO Transit à Toronto, BC Transit Commuter Rail à Vancouver et train de banlieue AMT à Montréal). Si le quartier est situé dans une zone urbaine qui n'est pas desservie par un service de train de banlieue, la case à cocher pour l'indiquer doit être vide. Ce n'est que lorsque la case est cochée que l'on peut accéder à la zone de texte pour la modifier; autrement, la valeur affichée est zéro.

- **Heures de service des transports en commun** — La somme totale des heures pendant un jour de semaine typique que les autobus passent à traverser la zone définie par un cercle ayant un diamètre d'un kilomètre à partir du centre de gravité du quartier. La mesure est une fonction de la fréquence du service d'autobus et de l'étendue des itinéraires d'autobus dans la zone. Cette valeur peut être difficile à calculer; par conséquent, un formulaire facultatif peut être activé en appuyant sur le bouton de commande « Aide pour calcul des h. de service tr. en commun », qui calcule la variable automatiquement. Les données introduites dans ce formulaire ne sont pas sauvegardées avec le scénario, mais elles demeureront dans le formulaire pour servir dans un autre scénario si les valeurs ne sont pas ramenées à zéro. (L'utilisateur peut aussi, s'il le désire, utiliser les valeurs typiques des heures de service des autobus dans la note d'aide pour estimer cette variable. On peut y accéder en pointant le curseur sur le point d'interrogation rouge.)

Le chiffrier n'empêchera pas les utilisateurs d'introduire des données insensées comme variables d'entrée, comme des pourcentages négatifs ou des pourcentages du nombre total de logements supérieurs à 100 %. Dans certains cas, il se peut qu'une erreur dans les calculs du modèle empêche le modèle de produire un résultat numérique. Il incombe à l'utilisateur d'introduire des données réalistes.

En plus, il y a cinq boutons de commande qui entraînent les mesures suivantes :

- **Conserver les changements au scénario actuel** — Cela a pour effet de sauvegarder les modifications apportées au scénario actuel, de sorte qu'après avoir travaillé à un autre scénario, l'utilisateur peut de nouveau choisir ce scénario dans l'avenir sans que les modifications aient été supprimées. Autrement, les changements ne sont pas sauvegardés lorsqu'on choisit un autre scénario.

- **Conserver sous forme de nouveau scénario** — Ce bouton sauvegarde le scénario modifié sous forme de nouveau scénario, qui devient alors le scénario actuel. Le scénario précédent sur lequel le nouveau scénario se fonde est conservé sous la dernière forme dans lequel il a été sauvegardé, sans les nouvelles modifications.

- **Effacer les changements au scénario** — Ce bouton ramène les variables du scénario aux valeurs qu'on y trouvait la dernière fois que les changements du scénario ont été sauvegardés.

- **Sauvegarder les scénarios et l'outil** — Les deux commandes ci-dessus changent, créent ou suppriment des scénarios. Ces changements demeureront en vigueur pendant une séance d'utilisation du chiffrier, c'est-à-dire, jusqu'à la fermeture du chiffrier.

Toutefois, le chiffrier doit être conservé pour que ces changements y soient encore au moment de la réouverture du chiffrier. La commande « Sauvegarder les scénarios et l'outil » sauvegarde ces changements. L'utilisation de cette commande donne le même résultat que la sauvegarde du chiffrier au moyen de son nom de fichier actuel.

- **Fermer le formulaire** — Cela ferme le formulaire sans qu'aucune des mesures ci-dessus ne soit prise. Les changements au scénario actuel seront inclus dans les résultats du modèle, mais ces changements ne seront pas sauvegardés dans le scénario s'il est de nouveau choisi à une date ultérieure.

## A.4 FEUILLE DES RÉSULTATS DU MODÈLE

La feuille des résultats paraît dans la pièce A.4. C'est la feuille qui montre les émissions annuelles de gaz à effet de serre par ménage. On accède à cette feuille en appuyant sur le bouton de commande « Afficher les résultats du modèle » du menu principal. La feuille comprend cinq parties :

- **En-tête de la feuille** — Comprend les deux boutons de commande permettant à l'utilisateur de revenir à la feuille du menu principal ou d'imprimer les résultats du scénario actuel. Cette en-tête demeure visible même lorsque l'utilisateur se sert de la barre de défilement vertical pour voir le reste de la feuille.

- **Description du scénario** — Comprend les données descriptives du scénario permettant de suivre l'évolution de ses résultats.

- **Résumé des variables décrivant le quartier** — Montre les valeurs des variables explicatives définissant le scénario, telles qu'introduites par l'utilisateur.

- **Paramètres du modèle** — Résume les paramètres du modèle et les valeurs des variables telles qu'utilisées par le modèle.

- **Rendement du quartier** — Cette partie résume le rendement du quartier en ce qui a trait aux déplacements quotidiens par ménage et aux émissions annuelles de gaz à effet de serre par ménage, exprimés en équivalents $CO_2$. Un petit graphique montre les émissions de gaz à effet de serre produites par les déplacements en auto et en transport en commun et sa couleur passe du vert au noir puis au rouge, plus les niveaux des émissions augmentent. En appuyant sur le bouton de commande en dessous de cette section, on fait apparaître une table des résultats des neuf scénarios de démonstration, ce qui permet de les consulter rapidement afin de les comparer aux résultats du scénario actuel.

Pièce A.4
Feuille des résultats du modèle

Imprimer les résultats | Retourner au menu principal

en collaboration avec
Ressources naturelles Canada

## Outil pour évaluer la durabilité des quartiers

**Résumé des données introduites et des résultats**

**Date:** n/a
**Utilisateur/auteur:** 0
**Description du scénario:** 2A - Secteur interne, lotissement de densité moyenne

### RÉSUMÉ DES VARIABLES DÉCRIVANT LE QUARTIER

| | |
|---|---|
| Disposition des routes | Mélange de formes rectangulaires et curvilignes |
| Longueur tot. des routes autres qu'express (km) | 5 |
| Nombre tot. d'intersections | 25 0 |
| Longueur tot. des gr. voies de comm. (km) | 0 4 |
| Longueur tot. des pistes cyclables (km) | 0 0 |
| Heures de serv. quot. d'autobus (rayon d'un km) | 45 0 |
| Superficie des terrains (ha) | 41 5 |

**Données socio-démographiques**

| | |
|---|---|
| Nombre moy. prévu de pers./ménage | 2 79 |
| % prévu de pop. de < 16 ans | 21 0 |
| Revenu d'emploi moy. prévu | $51,430 |

**Caractéristiques du quartier**

| | |
|---|---|
| Nombre de logements | 900 |
| Taille moy. des logements (pièces/log.) | 6 |
| Combinaison de type de logements | 0 96 |
| Densité d'hab. de la zone (rayon d'un km, log./ha) | 21 69 |
| Nombre d'emplois (rayon d'un km) | 1,893 |
| Nombre d'épiceries/mag. d'alim. (rayon d'un km) | 3 |

**Caractéristiques d'emplacement**

| | |
|---|---|
| Dist. par rapp. au centre-ville (km) | 5 0 |
| Nombre d'emplois (rayon de 5 km) | 400,000 |
| Dist. p. rapp. à gare TR la plus proche (km) | 1 0 |
| Zone urb. desservie par train de banlieue | TRUE |
| Dist. p. rapp. à gare train de banl. la plus proche (km | 5 0 |

### PARAMÈTRES DU MODÈLE

**Modèle des VKD en auto en semaine**

| | Valeur | Coefficient |
|---|---|---|
| Constante | | 34 5 |
| Dist. p. rapp. au centre-ville (km) | 5 0 | 0 680 |
| Véhicules/ménage **(estimé au moy. du modèle de régression)** | 1 14 | 15 1 |
| Ln (emplois, rayon de 5 km) | 12 9 | -3 60 |
| Comb. d'utilis. des terrains (entropie) | 0 63 | -8 73 |
| Ln (personnes/ménage) | 1 03 | 17 5 |
| Dist. p. rapp. à gare de TR/train banlieue la plus proche (km) | 1 0 | 0 534 |
| Revenu personnel (milliers$) | 34 3 | 0 228 |
| Disp. des routes est Grille rurale | 0 | 5 507 |
| Rapp. gr. voies de comm. – longueur tot. des routes autres qu'express | 8% | 12 968 |
| Intersections/km de route | 5 0 | -1 14 |
| *facteur de correction pour sous-déclaration* | | *1 47* |
| | **Moyenne des VKD/ménage:** | **36.4** |

**Modèle des PKD en transport en commun en semaine**

| | Valeur | Coefficient |
|---|---|---|
| Constante | | -7 03 |
| Dist. p. rapp. au centre-ville (km) | 5 0 | 0 182 |
| [Dist. p. rapp. au centre-ville (km)]$^2$ | 25 0 | -0 00294 |
| Véhicules prévus/ménage | 1 14 | -2 84 |
| H de service des transports en commun (rayon d'un km) | 45 0 | 0 0769 |
| Ln (logements, rayon d'un km) | 8 83 | 0 870 |
| Nombre moy. de personnes/ménage | 2 79 | 5 47 |
| Ln (emplois, rayon d'un km) | 7 55 | -0 496 |
| Nbre de magasins (rayon d'un km) | 3 | -0 165 |
| Pistes cyclables dans quartier (binaire) | 0 | 0 642 |
| Gare de TR dans r d'un km (binaire) x dist. p. rapp. au centre-ville (km) | 5 0 | 0 243 |
| Gare de train banl. dans r de 2km (binaire) x distance p. rapp. au centre-ville (km) | 0 0 | 0 0233 |
| *facteur de correction pour sous-déclaration* | | *1 30* |
| | **Moyenne des PKD/ménage:** | **18.2** |

### RENDEMENT DU QUARTIER

**Comportement des ménages relatif aux déplacements quotidiens en semaine:**

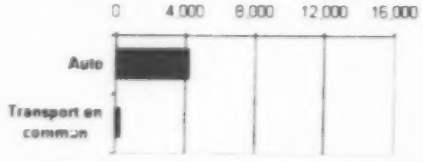
| | |
|---|---|
| VKD en auto | 36 4 VKD/ménage |
| PKD en tr. en comm. | 18 2 PKD/ménage |

**Émissions annuelles ménage produites par les déplacements:**

| | | |
|---|---|---|
| Auto | équiv. de | 4,200 kg de $CO_2$ |
| Transp. en comm. | équiv. de | 250 kg de $CO_2$ |
| TOTAL | équiv. de | 4,500 kg de $CO_2$ |

**Nombre de ménages:** 900

**Émissions annuelles de GES produites par les déplacements ménage du quartier (équivalent en kg de $CO_2$)**




Comparer avec d'autres scénarios de quartier

IBI